

# HANDBUCH DER WISSENSCHAFTLICHEN UND ANGEWANDTEN PHOTOGRAPHIE

HERAUSGEGEBEN VON

ALFRED HAY

BAND VII

PHOTOGRAMMETRIE UND  
LUFTBILDWESEN



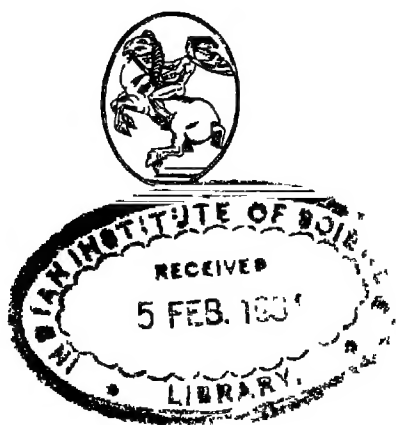
WIEN  
VERLAG VON JULIUS SPRINGER  
1930

# OTOGRAMMETRIE UND LUFTBILDWESEN

BEARBEITET VON

R. HUGERSHOFF

MIT 271 ABBILDUNGEN



WIEN

VERLAG VON JULIUS SPRINGER

1930

5019

ALLE RECHTE, INSBESONDERE DAS DER ÜBERSETZUNG  
IN FREMDE SPRACHEN, VORBEHALTEN

COPYRIGHT 1980 BY JULIUS SPRINGER IN VIENNA

770.0202-

1159.7

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Photogrammetrie und Luftbildwesen von Prof. Dr. Ing. R. HUGESHOFF, Dresden</b> (Mit 271 Abbildungen)	
<b>I. Geschichtliche Entwicklung des Verfahrens</b> .....	1
<b>II. Anwendungsgebiete und Vorzüge des photogrammetrischen Verfahrens</b>	6
<b>III. Rekonstruktion des Objektes aus einer Aufnahme</b> . . . . .	9
A Aufnahme ebener und ebenflächiger Gebilde . . . . .	9
Linsenweise Rekonstruktion auf Grund perspektiver Beziehungen . . .	9
Punktweise Rekonstruktion auf Grund perspektiver Beziehungen . . .	12
Flächenweise Rekonstruktion auf Grund perspektiver Beziehungen (Entzerrung) .....	17
Rekonstruktion durch Vermittlung der Bildpunktkoordinaten . . . . .	24
B Aufnahme beliebiger Raumgebilde . . . . .	28
Rekonstruktion auf Grund perspektiver Beziehungen mit Hilfe von Lichtebenen . . . . .	28
Rekonstruktion unter Vermittlung der Bildpunktkoordinaten mit Benutzung von Hilfsbasen . . . . .	30
Rekonstruktion unter Vermittlung der Bildpunktkoordinaten mit Benutzung von einem oder mehreren Spiegeln . . . . .	32
C Aufnahmen des Himmelsgewölbes . . . . .	34
<b>IV. Punktweise Rekonstruktion eines beliebigen Objektes aus einem Bildpaar</b> .	35
A Meßtischphotogrammetrie Getrennte Bearbeitung der Einzelbilder . . . . .	35
Rein graphisches Vorwärtseinschneiden mit Richtungsbüscheln . . . . .	35
Graphisch-optisches Vorwärtseinschneiden mit Richtungsbüscheln . . .	40
Vorwärtseinschneiden mit rechnerisch bestimmten Richtungswinkeln . .	40
Vorwärtseinschneiden mit graphisch-mechanisch bestimmten Richtungswinkeln . . . . .	43
Vorwärtseinschneiden mit optisch-mechanisch bestimmten Richtungswinkeln . . . . .	44
Berechnung der Objektpunktkoordinaten unmittelbar aus den Bildpunktkoordinaten . . . . .	47
B. Stereophotogrammetrie Gemeinsame Bearbeitung der Bildpaare . . . . .	49
Das Wesen des Verfahrens . . . . .	49
Stereokomparatoren . . . . .	55
<b>V. Kontinuierlich-automatische Rekonstruktion des Objektes aus einem Bilderpaar (Autogrammetrie)</b> . . . . .	60
A Spezielle Lösungen der Aufgabe . . . . .	61
Der Stereoplanigraph nach DEVILLE Die Konstruktionen von PULFRICH, TRENDLENBURG, BEYERLEN und PRÉDIERE . . . . .	61
Der Stereoaograph nach E. v. OREL . . . . .	65
Der Autograph nach WILD . . . . .	71



	Seite
Das Zonenverfahren nach SCHEIMPFLUG. Konstruktion von BROCK und WEYMOUTH .....	75
Doppelprojektor nach SCHEIMPFLUG. Konstruktionen von GASSER, NISTRI und FERBER ..	77
Aerosimplex nach HUGERSHOFF ..	83
B. Allgemeine Lösungen der Aufgabe ..	86
Autokartograph nach HUGERSHOFF ..	86
Stereoplanigraph nach BAUERSFELD ..	94
Aerokartograph nach HUGERSHOFF ..	98
VI. Aufnahmegeräte ..	103
A Allgemeines ..	103
Hilfsmittel zur Festlegung der inneren Orientierung der Kammern ..	103
Hilfsmittel zur direkten Bestimmung der äußeren Orientierung der Aufnahmen ..	104
Objektive von Meßkammern ..	107
Formate der Meßkammern ..	109
Verschlüsse der Meßkammern ..	111
Die Emulsionsträger ..	115
Emulsion und Filter ..	117
Filmwechselkassetten ..	121
B Meßkammern für feste Aufstellung ..	126
Kammern mit nicht neigbarer Bildebene ..	126
Kammern mit neigbarer Bildebene ..	136
C Meßkammern für bewegliche Aufstellung ..	143
Einfache Kammern mit Handbetätigung ..	143
Mehrfachkammern mit Handbetätigung ..	148
Einfachreihenbildner ..	151
Mehrfachreihenbildner ..	155
D. Meßkammerkonstanten und ihre Bestimmung ..	157
Beziehungen zwischen innerer Orientierung der Bilder und Kammerkonstanten. Öffnungswinkel ..	157
Photographische Bestimmung des Kammerhauptpunktes und der (zufälligen) Bildwerte der Rahmenebene; Ableitung der Öffnungswinkel aus diesen Werten ..	159
Direkte Bestimmung der Öffnungswinkel nach Prüfaufnahmen oder Messungen an der Kammer ..	162
VII. Die mittelbare Bestimmung der äußeren Orientierungselemente ..	164
A. Orientierung von Einzelaufnahmen ..	164
Graphische Spezialverfahren bei ebenem und wagrechttem Gelände ..	164
Allgemein anwendbare Verfahren (räumliches Rückwärtseinschneiden) ..	166
B. Paarweise Bildorientierung ..	180
Rechnerische Methoden ..	180
Optisch-mechanische Methoden ..	183
C. Orientierung von Bildgruppen. Aerotriangulation ..	193
Räumliches Einschneiden ..	195
Nadirpunkttriangulation nach SCHEIMPFLUG ..	195
Koppelreihen ..	198
Normalreihen ..	200
VIII. Genauigkeit des Verfahrens ..	202
A. Theorie der Objektpunktfehler ..	203
Koordinatenfehler als Funktion der Punktlage und der Fehler der bestimmenden Richtungen ..	203
Die Komponenten der Richtungsfehler $\Delta\alpha$ und $\Delta\tau$ ..	206
Der Fehler $\Delta\gamma$ einer Richtungsdivergenz ..	209

# Inhaltsverzeichnis

VII

	Seite
B. Ergebnisse praktischer Untersuchungen . . . . .	210
Ableitung der Objektpunktfehler aus überschüssigen Messungen . . .	210
Ableitung der Objektpunktfehler aus Vergleichsmessungen . . . . .	210
IX. Technik der Luftbildaufnahme . . . . .	217
A Allgemeines . . . . .	217
Arten der Aufnahmen und die aus ihnen abgeleiteten Produkte . . .	217
Flugzeuge und andere Kammerträger . . . . .	217
Bemerkungen zur Organisation . . . . .	222
B. Vorbereitung und Durchführung des Bildfluges . . . . .	223
Aufnahmedispositionen und wirtschaftliche Erwägungen . . . . .	223
Orientierung während des Fluges . . . . .	228
Hohenmessung . . . . .	231
Richtungsweisung und Abtrifftbestimmung . . . . .	233
Geschwindigkeitsmessung und Überdeckungsregelung . . . . .	236
Flugwegzeichner . . . . .	239
Namen- und Sachverzeichnis . . . . .	251



# Photogrammetrie und Luftbildwesen

Von

R. Hugershoff, Dresden

Mit 271 Abbildungen

## I. Geschichtliche Entwicklung des Verfahrens<sup>1</sup>

Die Photogrammetrie (Bildmeßkunst, Bildmessung) beschäftigt sich im entlichen mit der Aufgabe, aus den in photographischen Aufnahmen (Photommen, Meßbildern) festgelegten Zentralprojektionen eines räumlichen Gelles bestimmte orthogonale Projektionen desselben, insbesondere Grund- und riß, oder auch nur einzelne Abmessungen des Gebildes zu ermitteln

Das Verfahren hierzu ist verhältnismäßig einfach, wenn die Aufnahmen festen Standpunkten vorgenommen werden (terrestrische Photogramrie), da hier die Aufnahmekammer (Meßkammer) in eine spezielle Lage zur linie gebracht und im übrigen ihre Stellung im Raum durch unmittelbare ungen bestimmt werden kann. Bei Aufnahmen von bewegten Standkten aus (Aerophotogrammetrie, Luftbildmessung) wird die Rekonstruktion

Objektes schwieriger, da hier eine spezielle, das Rekonstruktionsverfahren anfachende Orientierung der Kammer zur Lotlinie nicht eingehalten werden n und die somit zufällige Orientierung sowie der Standpunkt der Aufnahmen allgemeinen nicht durch unmittelbare Messungen bestimmbar sind

Da die Meßbilder unter gewissen Voraussetzungen exakte Perspektiven dargestellten Gebildes sind, so leiten sich die Grundregeln ihrer Auswertung den Gesetzen der Perspektive ab. Diese Grundregeln sind im gewissen Sinne

Umkehrung der Perspektive und, wenn auch nur vereinzelt, bereits lange Erfindung der Photographie zur Anwendung gekommen. So hat z. B. der weizer M. A. CAPPELER<sup>2</sup> im Jahre 1726 eine Karte des Pilatusstockes am rwaldstättersee konstruiert und dazu berichtet, daß er „solche Carte durch f zweyer prospectus, die in gar wenig Zeit konnen gemacht werden, zu wegen racht“

Die Regeln von der Umkehrung der Perspektive erstmalig zusammen-gend dargestellt und begründet zu haben, ist das Verdienst J. H. LAMBERTS<sup>3</sup> 9), von dessen Theorien der französische Hydrograph BEAUTEMPES-BEAUPRÉ rauh machte zur Rekonstruktion seiner ebenfalls freihändig aufgenommenen

<sup>1</sup> Vgl. auch E. DOLEŽAL, Int. Arch. f. Photogramm. 4, 1913/14, S. 165

<sup>2</sup> Mitt. z. Gesch. d. Med. u. Naturwiss., 7, 1908, S. 142 und Int. Arch. f. Photom. 3, 1913, S. 289

<sup>3</sup> J. H. LAMBERT, Freye Perspektive, 8. Abschnitt, Bd. 1, S. 176 bis 200, Zürich 1)

perspektivischen Skizzen der Ufer von Vandiemensland (Tasmanien) und der Insel Santa Cruz (1791). Eine ausgedehnte praktische Verwertung derartiger Freihandskizzen wurde allerdings verhindert durch die mit ihrer Herstellung notwendig verbundene Ungenauigkeit, die bereits von DÜRER<sup>1</sup> um 1525 zur genaueren Zeichnung von Perspektiven angegebenen Hilfsmittel (s. Abb. 1) waren anscheinend in Vergessenheit geraten. Dagegen bediente sich eines solchen Hilfsmittels in neuerer Form, nämlich des WOLLASTONSCHEN Prismas (der „Camera lucida“), zuerst der französische Offizier AIMÉ LAUSSEDA, 1851. Er war auch der erste, der um die gleiche Zeit praktische Versuche machte, die in der Camera obscura von seinen beiden berühmten Landsleuten NIPPOE und DAGUERRE erzeugten photographischen Bilder insbesondere der topographischen Verwendung zuzuführen. Mit ungewöhnlicher Energie arbeitete LAUSSEDA, der mit Recht als der Begründer der Photogrammetrie<sup>2</sup> im eigentlichen Sinne angesehen wird, an dem Ausbau der neuen Methode, er baute 1859 die erste Spezial-

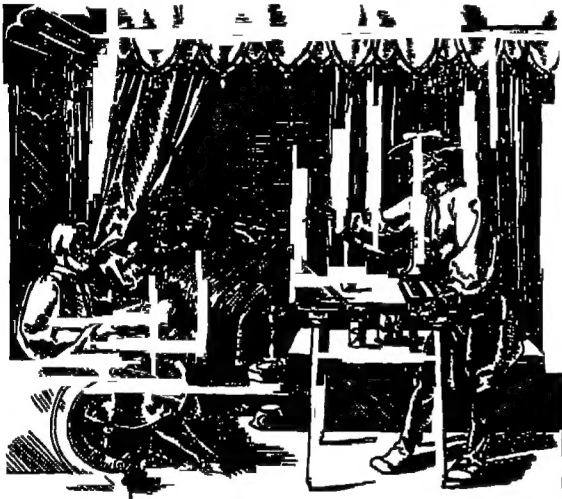


Abb. 1 Hilfsmittel zum Entwerfen einer Perspektive  
nach A. DÜRER

kammer für die topographische Photogrammetrie und bewies die Eignung der Methode durch eine Reihe recht genauer Pläne,<sup>3</sup> deren ersten er 1861 herstellte. Seit 1866 bemühte er sich auch um die topographische Verwertung von Luftbildern, deren erstes 1858 von G. F. TOURNACHON, genannt NADAR, vom Fesselballon aus aufgenommen wurde.

LAUSSEDA'S Arbeiten wirkten überaus anregend. So wurden 1862 im amerikanischen Bürgerkrieg zum ersten Male an Hand von Photographien vom Ballon aus Operationen gegen den Feind geleitet<sup>4</sup> und 1865

verwendeten PUJO und FOURCADE erstmalig in Frankreich Aufnahmen mit geneigter Kammer.

Zunächst unabhängig von LAUSSEDA beschäftigte sich in Deutschland seit 1858 A. MEYDENBAUMER, der spätere Begründer (1883) der Preussischen Meßbildanstalt, mit photogrammetrischen Problemen, allerdings fast ausschließlich und mit besonderem Erfolge mit ihrer Anwendung auf Architekturaufnahmen. 1873 konstruierte W. JORDAN, Professor an der Technischen Hochschule Hannover, auf Grund eigener photogrammetrischer Aufnahmen einen

<sup>1</sup> A. DÜRER, Unterweysung der Messung mit Zirkel und Richtscheit usw., Nürnberg 1525, vgl. auch M. v. ROHR, ZS f. I 25, 1905, S. 61.

<sup>2</sup> Die Bezeichnung „Photogrammetrie“ wurde zuerst öffentlich angewandt von W. JORDAN, ZS f. Verm., 5, 1876, S. 17. LAUSSEDA selbst gebrauchte das Wort Metrophotographie.

<sup>3</sup> E. DOLBEZ, Int. Arch. f. Photogramm. 1, 1908, S. 4ff., J. M. TORREJA, Int. Arch. f. Photogramm. 2, 1911, S. 249.

<sup>4</sup> PIZZIGHELLI, Hdb. d. Phot., Bd. 3, Halle a. S. 1892, S. 212ff.

Plan der Oase Dachel<sup>1</sup> und wenig später (1875) begann in Italien, begünstigt durch das für die topographische Anwendung der Photogrammetrie besonders geeignete Gebirgsgegend, der Oberleutnant M MANZI mit der Herstellung der ersten Gletscherkarte<sup>2</sup> (Bartgletscher am Mont Cenis), zu besonderer Blüte wurde hier das Verfahren, dessen Anwendung im Gebirgsland durch die zunächst gebrauchten nassen Kollodiumplatten bisher sehr erschwert war, seit 1879 durch den Ingenieurgeographen P PAGANINI gebracht, der schon in der Lage war, Trockenplatten zu benutzen PAGANINI konstruierte (1884) den ersten eigentlichen Phototheodolit (mit neigbarer Kammer) und gab die ersten mechanischen Hilfsmittel<sup>3</sup> an zur Vereinfachung der Rekonstruktion 1877 führte in Schweden H HILDEBRANDSSON die erste photogrammetrische Bestimmung von Wolkenhöhen und Luftströmungen aus, Professor G DE GEER machte 1882 in Spitzbergen ebenfalls Gletscheraufnahmen, deren sich dann bald darauf (1888) in Deutschland S FINSTERWALDER besonders annahm

1883 gab G HAUCK in einer wertvollen Abhandlung<sup>4</sup> einen Satz an, nach dem sich aus zwei beliebigen Projektionen eines Gegenstandes irgend eine dritte Projektion desselben ableiten läßt, der Satz läßt sich also auch auf die Aufgabe der Photogrammetrie anwenden und ergibt aus zwei Meßbildern eine orthogonale Projektion (Grundriß oder Aufriß) des betreffenden Objekts Im Anschluß hieran entwickelte HAUCK sogar das Prinzip eines Apparates, der seinen Satz mechanisch realisierte<sup>5</sup> Wenn dieser Apparat aus verschiedenen Gründen eine praktische Bedeutung auch nicht erlangen konnte, so stellt er doch das erste Gerät dar, mit dem man unter gewissen Bedingungen aus zwei Photogrammen der Oberfläche eines beliebigen Körpers beliebige Kurven auf dieser Oberfläche unmittelbar und kontinuierlich ermitteln kann Diesem von ihm wenigstens theoretisch erreichten Ziel legte HAUCK mit Recht größte Bedeutung bei „Erst hierdurch durfte die Photogrammetrie volle Leistungsfähigkeit gewinnen“

C KOPPE, Professor an der Technischen Hochschule Braunschweig, der sich seit 1888 mit der Photogrammetrie beschäftigte, ist neben einer Reihe von Formelentwicklungen vor allem eine besondere Methode<sup>6</sup> der Winkelenntnahme aus Meßbildern, unabhängig von den Verzeichnungsfehlern des Aufnahmeobjekts, zu verdanken Die Methode entstand in Anlehnung an ein von C F GAUSS angewandtes Verfahren zur Messung von Fadendistanzen durch das Objektiv des Fernrohrs hindurch<sup>7</sup> KOPPE hat auch anregend auf die Entwicklung der photogrammetrischen Methode zur geographischen Orts- und Zeitbestimmung gewirkt, er schrieb 1889 das erste deutsche Lehrbuch<sup>8</sup> der Photogrammetrie, dem 1892 der österreichische Professor FR SCHIFFNER,<sup>9</sup> 1893 Professor FR STEINER<sup>10</sup> in Prag und endlich 1896 der durch seine publizistische Tätigkeit und

<sup>1</sup> EGGERT-JORDAN, Hdb d Vermessungskde, Bd 2, Stuttgart 1914, S 840ff

<sup>2</sup> M WEISS, Die geschichtliche Entwicklung d Photogrammetrie und die Begründung ihrer Verwendbarkeit f Meß- und Konstruktionszwecke, Stuttgart 1913, S 8

<sup>3</sup> F SCHIFFNER, Die photographische Meßkunst, Halle a S 1892, S 103ff

<sup>4</sup> G HAUCK, Journ f d reine u angewandte Math 95, 1883, S 13

<sup>5</sup> G HAUCK, Mein perspektivischer Apparat in Festschrift der Kgl Techn Hochschule in Berlin 1884

<sup>6</sup> C KOPPE, Photogrammetrie u intern Wolkenmessung Braunschweig 1898

<sup>7</sup> Einen ähnlichen, inzwischen aber in Vergessenheit geratenen Vorschlag hatte lei italienische Professor PORRO gemacht, vgl E DOLEŽAL, Der Mechaniker 10, 1902, Nr 6 und 7

<sup>8</sup> E KOPPE, Die Photogrammetrie oder Bildmeßkunst, Weimar 1889

<sup>9</sup> FR SCHIFFNER, Die photographische Meßkunst oder Photogrammetrie, Bildmeßkunst, Phototopographie, Halle a S 1892

<sup>10</sup> FR STEINER, Die Photographie im Dienste des Ingenieurs, Wien 1893

als Begründer (1905) der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie hochverdiente Professor E. DOLEŽAL<sup>1</sup> in Wien weitere wertvolle Einführungen folgen ließen

Nachdem der Ingenieur V. POLLACK bereits seit 1890 der Photogrammetrie in Österreich und besonders in dem unter Leitung des damaligen Obersten v. HÜBL stehenden Militärgeographischen Institut Eingang verschafft hatte, fand sie dort zunächst in dem ideenreichen Hauptmann TH. SCHEIMPFLUG einen verdienstvollen Vertreter, dem insbesondere die Photogrammetrie von bewegten Standpunkten aus wertvollste Anregungen verdankt. Bereits 1891 veröffentlichte er das vollständige Konstruktionsprinzip eines sehr originalen Kartierungsgerätes, des Doppelprojektors,<sup>2</sup> der für einen Spezialfall der Photogrammetrie, nämlich den mit senkrecht nach unten gerichteter Kammer, eine kontinuierliche Rekonstruktion des Objekts, und zwar auf rein optischem Weg ermöglichte. Verschiedene spätere Konstruktionen zeigen engste Anlehnung an diese SCHEIMPFLUGsche Erfindung.<sup>3</sup> Gewisse Mängel bei dieser Lösung des Problems gaben SCHEIMPFLUG den Anlaß zur Konstruktion seines „Perspektographen“,<sup>4</sup> der die Grundlage bildet für sämtliche heute verwendeten sogenannten Entzerrungsgeräte zur photographischen Transformation einer Perspektive in eine andere. Das Gerät sollte vor allem zur Umformung der mit Mehrfachkamern erhaltenen Aufnahmen dienen, wie solche seit 1900 von dem russischen Ingenieur R. THIELKE gebaut und zunächst an Drachen, später an kleinen Fesselballonen hochgebracht wurden. SCHEIMPFLUG hat auch als erster ein brauchbares Verfahren zur luftphotogrammetrischen Verdichtung eines weitmaschigen Triangulationsnetzes, die sogenannte „Nadirpunkttriangulation“ angegeben. Um die gleiche Zeit (1909) stellte der italienische Genieoffizier C. TARDIVO den ersten Luftbildplan aus Flugzeug-Senkrechtaufnahmen her.<sup>5</sup>

Inzwischen hatten auch Nordamerikanische Vermessungsbehörden Versuche mit dem photogrammetrischen Verfahren angestellt. Der kanadische Topograph E. DEVILLE veröffentlichte 1895 seine Erfahrungen in einem ausgezeichneten Lehrbuch,<sup>6</sup> in dem er auch wertvolle Hilfsmittel für die graphische Auswertung der Meßbilder angab, er war einer der ersten (1902), die sich mit der stereoskopischen Auswertung von Meßbildpaaren beschäftigten.<sup>7</sup> Sein die bezüglichlicher Vorschlag ist grundlegend gewesen für die meisten der heute verwendeten Geräte zur Ausmessung von stereoskopischen Röntgenaufnahmen.

Die überhaupt erste Anregung zur stereoskopischen Ausmessung von Bildpaaren gab F. STOLZE<sup>8</sup> 1893. Auf seinem von ihm vorgeschlagenen, zunächst

<sup>1</sup> E. DOLEŽAL, Die Anwendung der Photographie in der prakt. Meßkunst, Halle a. S. 1896 (und 1900).

<sup>2</sup> TH. SCHEIMPFLUG, Phot. Corr. 1893, S. 114 ff. (Vortrag, gehalten auf der Naturforscherversammlung zu Braunschweig 1897).

<sup>3</sup> M. GASSER, D. R. P. Nr. 306384 u. 306385 (1915), ferner NISTRIS (Röntgen-Photokartograph, Boykowsky (Berlin) Triangulator. Vgl. auch WINTERBOTHAM, The Royal Eng. Journ., London, März 1924. In Verbindung mit binokularer Betrachtung verwenden das SCHEIMPFLUGsche Prinzip auch BAUTERSFELDS Stereoplanigraph und HUGERSHOFFS Aerostamplex.

<sup>4</sup> TH. SCHEIMPFLUG, Phot. Corr. 1906, S. 516.

<sup>5</sup> TH. SCHEIMPFLUG, D. R. P. Nr. 228590 vom 14. Aug. 1909.

<sup>6</sup> C. TARDIVO, Topofotografia Aerea, Int. Arch. f. Photogramm. 4, 1913/14, S. 180, und Taf. VI.

<sup>7</sup> E. DEVILLE, Photographic Surveying including the elements of descriptive Geometry and Perspective, Ottawa 1895.

<sup>8</sup> DERSCHKE, Transact. of the Royal Soc. of Canada, 1902/03.

<sup>9</sup> F. STOLZE, Die photographische Ortsbestimmung ohne Chronometer und d.

primitiven Stereomikrometer beruht die Konstruktion der heutigen Stereokomparatoren, in denen die gleichzeitige Betrachtung bzw. Ausmessung der Teilbilder eines Paares mittels binokularer Mikroskope vorgenommen wird.

Solche Geräte konstruierten fast gleichzeitig (1901) und unabhängig voneinander H. G. FOURCADE<sup>1</sup> in Kapstadt und C. PULFRICH<sup>2</sup> in Jena. Die für diese Geräte besonders geeignete Aufnahmemethode wurde in Deutschland von PULFRICH<sup>3</sup> in Gemeinschaft mit dem Vermessungsdirigenten SELIGER, in Österreich von dem Leiter des militärgeographischen Institutes v. HÜBL<sup>4</sup> ausgebildet. Unter den Mitarbeitern v. HÜBLs erwarb sich der damalige Oberleutnant E. v. OREL ein außerordentliches Verdienst dadurch, daß er (1908) einen Apparat<sup>5</sup> konstruierte, der in Verbindung mit dem Stereokomparator die in diesem eingestellten Punkte mechanisch und selbsttätig nach ihrer Orthogonalprojektion auf ein Zeichenblatt übertrug. Ein ähnliches Gerät hatte zwar bereits 1907 der englische Leutnant V. THOMPSON<sup>6</sup> gebaut, während dieses aber nur eine unktweise Übertragung ermöglichte, ließen sich bereits mit dem zweiten 1909 von der Firma CARL ZEISS gebauten Modell des v. ORELschen Gerätes beliebige Situationslinien und insbesondere Schichtenlinien automatisch-kontinuierlich zeichnen. Um die Weiterentwicklung dieses Gerätes, das das von HAUCK angestrebte Ziel zuerst praktisch erreichte, hat sich C. PULFRICH besondere Verdienste erworben.

Während der v. ORELsche „Stereoaograph“ im wesentlichen nur zur Rekonstruktion des Objektes aus Normalstereogrammen, also paarweisen Aufnahmen von festen Standpunkten aus, geeignet ist, löst der 1918 von R. HUGERSHOFF<sup>7</sup> angegebene Autokartograph zuerst das allgemeine Problem der Photogrammetrie auf mechanisch-automatischem Wege. Dieses Instrument und die 1926 erschienene neue Ausführungsform<sup>8</sup> desselben, der Aerokartograph, beide von G. HEYDNE in Dresden gebaut, gestatten daher die selbsttätig-kontinuierliche Kartierung nach beliebig im Raum orientierten Meßbildern, also insbesondere auch nach Luftmeßbildern. Die gleiche Aufgabe löste 1923 C. BAURSFELD auf anderem Wege mit dem bei CARL ZEISS in Jena gebauten Stereoplanigraphen<sup>9</sup>.

Die bei Luftmeßbildern im allgemeinen nur mittelbar mögliche Bestimmung der äußeren Orientierung der Meßbilder kann auf graphischem, rechnerischem oder — bei Verwendung der zuletzt genannten Instrumente — rein mechanisch-optischem Wege geschehen. Für diese Verfahren haben S. FINSTERWALDER,<sup>10</sup>

Verbindung d. dadurch bestimmten Punkte untereinander. Photogr. Bibliothek, Bd. 1, Berlin 1893.

<sup>1</sup> H. G. FOURCADE, Transact. of the South African Phil. Soc. 14, 1903, Part I.

<sup>2</sup> C. PULFRICH, ZS f. I. 22, 1902, S. 43.

<sup>3</sup> C. PULFRICH, ZS f. I. 23, 1903, S. 65 ff., ferner ebenda, 24, 1904, S. 53.

<sup>4</sup> A. v. HÜBL, Mitt. d. Militärgeogr. Inst., Wien, 22, 1903, 23, 1904, 1, 1905.

<sup>5</sup> E. v. OREL, Mitt. d. Militärgeogr. Inst., Wien, 30, 1911.

<sup>6</sup> V. THOMPSON, The Geogr. Journ., London, Mai 1908. Vgl. auch Int. Arch. f. Photogramm. 3, 1912, S. 130 ff.

<sup>7</sup> R. HUGERSHOFF, Geogr. Anz. 21, 1920, S. 1, H. KREBS, ZS f. Feinmechanik, 1922, S. 37.

<sup>8</sup> R. HUGERSHOFF, Vorträge, gehalten an d. Hauptvers. (1926) d. Int. Gesellschaft f. Photogrammetrie, Berlin 1927, S. 199.

<sup>9</sup> O. v. GRUBER, ZS f. I. 43, 1923, S. 1.

<sup>10</sup> S. FINSTERWALDER, Jahresber. d. Deutsch. Math. Vereinigung 6, 1897, S. 22.



K FUCHS,<sup>1</sup> R HUGERSHOFF<sup>2</sup> und O v GRUBER<sup>3</sup> grundlegende Vorarbeiten geleistet. Mit Hilfe der zuletzt erwähnten photogrammetrischen Universalinstrumente ist eine rationelle Verwertung beliebig gerichteter Aufnahmen auch in der terrestrischen Photogrammetrie möglich geworden. Die Notwendigkeit zur Einhaltung spezieller Aufnahmebedingungen ist also entfallen, eine Notwendigkeit, durch welche die Feldarbeit oft wesentlich vermehrt und damit die Wirtschaftlichkeit der Methode nicht selten in Frage gestellt wurde. Mit dieser Einführung des allgemeinen Falles in die terrestrische Photogrammetrie ist aber auch die bisher gebräuchliche Gliederung der Bildmessung in terrestrische Photogrammetrie und Luftbildmessung hinfällig geworden.

## II. Anwendungsgebiete und Vorzüge des photogrammetrischen Verfahrens

Die Photogrammetrie dient zunächst und vorwiegend einem geodätischen Zwecke, nämlich der Herstellung von Schichtenplänen und topographischen Karten, wobei die erforderlichen Aufnahmen für große und mittlere Planmaßstäbe (1 : 250 bis 1 : 5000, technische Pläne) meist von festen Standpunkten bisweilen aber mit Vorteil auch von Luftstandpunkten aus vorgenommen werden, während für mittlere und kleine Kartenmaßstäbe (1 : 5000 bis 1 : 50000, von der allgemeinen Wirtschaftskarte bis zu kolonialtopographischen Kartierungen) heute im allgemeinen fast nur Aufnahmen von Luftstandpunkten aus in Frage kommen.<sup>4</sup>

Ein besonderer Vorzug des photogrammetrischen Verfahrens ganz allgemein und der Luftbildmessung im besonderen gegenüber den üblichen topographischen Aufnahmemethoden liegt in der wesentlichen Verkürzung der für die Feldarbeiten aufzuwendenden Zeit. Dieser Vorzug wirkt sich zunächst — trotz der erforderlichen verhältnismäßig teureren instrumentellen Hilfsmittel — wenigstens bei umfangreichen Vermessungsaufgaben in einer Steigerung der Wirtschaftlichkeit<sup>5</sup> der Kartenherstellung aus, zumal phototopographische Arbeiten im allgemeinen auch mit einem geringeren Personalbestand als bisher durchgeführt werden können. Der Umstand, daß ein großes Gebiet insbesondere von Luftstandpunkten aus in sehr kurzer Zeit aufgenommen werden kann, hat den weiteren Vorteil, daß ein aus solchem Material gewonnenes topographisches Kartenwerk den Zustand eines Landes geradezu in einem bestimmten Zeitpunkt wiedergibt. Das ist von unmittelbarer Bedeutung für Gebiete, in denen gewisse Einzelheiten raschen Veränderungen unterworfen sind, sei es als Folge wirtschaftlicher Maßnahmen, wie in Industriegebieten, oder physikalischer Vorgänge, wie etwa in Flußniederungen. Aber auch die Dauer der zur Ausarbeitung der Bilder benötigten Zimmerarbeiten wird bei der heute praktisch allein noch in Betracht kommenden automatischen Kartierung wesentlich eingeschränkt. Dabei gewährt die automatische Methode, und das ist ein weiterer besonderer Vorzug, nicht nur eine hohe allgemeine Genauigkeit<sup>6</sup> wegen der in ihr liegenden

<sup>1</sup> K FUCHS, Int Arch f Photogramm 1908/10, S 112, 201, 250

<sup>2</sup> R HUGERSHOFF und H CRANZ, Grundlagen d Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen, Stuttgart 1919

<sup>3</sup> O v GRUBER, Einfache und Doppelpunktanschlüsse im Raum Jena 1924

<sup>4</sup> R HUGERSHOFF, Düsseldorfer Geogr Vorträge u Erörterungen, Breslau 1927, S 15

<sup>5</sup> FR SEIDEL, Mitt d Reichsamts f Landesaufn, Sonderheft 7, Berlin 1928

<sup>6</sup> Vgl S 211ff

utgehenden Ausschaltung persönlicher Fehler, sondern sie gestattet auch die sichtlichdarstellung mit einer Formentreue,<sup>1</sup> wie sie mit dem bei der üblichen terrestrischen Topographie gebräuchlichen Interpolationsverfahren praktisch niemals zu erreichen ist. Außerdem aber macht die maschinelle Kartierung in dem Maße unabhängig von der zufälligen persönlichen Geschicklichkeit des zeichnenden Zeichners, so daß das Gesamtergebn einen völlig einheitlichen Charakter trägt. Zu allem dem kommt noch der Vorteil, daß die Plandarstellung

Hand der Originalaufnahmen jederzeit einer Nachprüfung bzw. gegebenenfalls einer Neubearbeitung unterzogen werden kann.<sup>2</sup>

Es unterliegt heute keinem Zweifel mehr, daß die photogrammetrische Methode zum mindesten eine wesentliche Ergänzung der bisher vorhandenen topographischen Aufnahmemethoden darstellt, in vielen Fällen erweist sie sich diesen Methoden gegenüber als überlegen und sie ist sogar völlig unentbehrlich, wenn es sich um die topographische Darstellung eines Geländes handelt, das wegen seiner Beschaffenheit (z. B. Steilküsten, vgl. S. 147), seines Klimas oder aus militärischen Gründen unzugänglich ist.

Im einzelnen hat sich das phototopographische Verfahren bereits hervorragend bewährt zur Kartenkontrolle und Kartenergänzung,<sup>3</sup> bei der Beschaffung der Vermessungstechnischen Grundlagen (für Vorarbeiten in kleineren und für die gültige Durchführung in größeren Maßstäben) zu bautechnischen Maßnahmen verschiedenster Art<sup>4</sup>, z. B. Eisenbahn-<sup>5</sup> und Straßenbauten, vor allem in Kolonialgebieten,<sup>6</sup> Kanalanlagen, Talsperrenprojekten, Flußregulierungen, Ufer- und Ufer- und Wildbachverbauungen.<sup>7</sup> Die Methode fand weiter vorteilhafte Verwendung zur Grundbuchvermessung (Katasteraufnahme),<sup>8</sup> bei der Erstellung der allgemeinen (deutschen) Wirtschaftskarte (topographische und Karte),<sup>9</sup> von Stadterweiterungsplänen,<sup>10</sup> zur Vermessung von Gruben im Bergbau<sup>11</sup> und von Steinbrüchen, insbesondere zum Zwecke der fortlaufenden Darstellung der geförderten Massen. Auch in der Landwirtschaft<sup>12</sup> (Beschaffung

Unterlagen zu Bewässerungs- und Entwässerungsanlagen auf Grund von Luft- und Luftaufnahmen in Verbindung mit terrestrischen Einmessungen<sup>13</sup>) und in der Forst-

<sup>1</sup> E. v. ORBEL, Mitt. d. k. u. k. Militärgeogr. Inst. Wien, 31, 1911, S. 152 — KÖRNER, ebenda 33, 1914, S. 103.

<sup>2</sup> P. CORBIN, Rev. générale des Sciences 25, 1914, Paris, S. 223.

<sup>3</sup> FR. v. GÖSSNITZ, Ill. Flugwoche 5, 1923, S. 56. FR. SEIDEL, Mitt. d. Reichsamt f. Landesaufn. 3, 1928/29, S. 130.

<sup>4</sup> S. FINSTERWALDER, Vorträge, gehalten d. 2. Hauptvers. d. Intern. Ges. f. Phot. 1926, Berlin 1927, S. 10, K. KETTER, Vermessungstechn. Rundsch. 4, 1927, Berlin.

<sup>5</sup> S. TRUCK, ZS. f. Verm. 35, 1906, S. 313.

<sup>6</sup> K. SLAWIK, Allg. Verm. Nachr. 40, 1928, S. 553.

<sup>7</sup> O. v. GRUBER, ZS. d. Ver. deutsch. Ing. 67, 1923, S. 893, H. LÜSCHER, Die Wasserkraft 1925, S. 390.

<sup>8</sup> J. BALTESPERGER, Die Phot. als Aufnahmeverfahren d. Schweiz. Grundbuchvermess., Sammlung v. Ref. Brugg, Effingerhof A.-G., 1926, M. SCHÖBER, Bildmess. Luftbildwes. 3, 1928, S. 39, P. GORLT, Allg. Vermess. Nachr. 41, 1929, S. 225.

<sup>9</sup> FR. SEIDEL, Mitt. d. Reichsamt f. Landesaufn., Sonderh. 7, Berlin 1928.

<sup>10</sup> E. EWALD, Das Luftbild im Dienste d. Städtebaues u. Siedlungswesens Berlin 1922, N. LORKE, Bildmess. u. Luftbildwes. 1, 1926, S. 16, K. GÜRTLER, Mitt. d. Luftbild G. m. b. H. -Stereographie G. m. b. H. 1, 1925, S. 1, K. SLAWIK, ZS. f. Topol., München 1927/28, H. 7, S. 152, DERSELBE, „Luftwacht“ 1928, Ausgabeheft.

<sup>11</sup> O. v. GRUBER, „Die Braunkohle“, Halle 1925, S. 294.

<sup>12</sup> W. BASSE, ZS. d. deutsch. Kulturtechn. Gesellsch. 30, 1927, S. 116.

<sup>13</sup> H. LÜSCHER, ZS. f. Verm. 55, 1926, S. 193.

wirtschaft<sup>1</sup> findet die Planbeschaffung auf photogrammetrischem Wege immer mehr Eingang. In der Forstwirtschaft im besonderen wurde das luftphotogrammetrische Verfahren erfolgreich nicht nur zur Herstellung von Bestandes- und Wirtschaftskarten und Festlegung von Schädengrenzen, sondern versuchsweise auch zur Bestimmung der Holzmassen benutzt.<sup>2</sup> Das hierbei angewandte aussichtsreiche Verfahren hat große Bedeutung für die wirtschaftliche Erschließung forstlichen Neulandes.

In das Gebiet der technischen Topographie gehört noch die anders als luftphotogrammetrisch praktisch kaum durchführbare Aufnahme der Grenzen des Hoch- und Niedrigwassers an Staubecken, Seen und Flußläufen und die kartographische Festlegung von Untiefen und sonstigen Schifffahrtshindernissen unterhalb des Wasserspiegels. Darauf, daß die Photogrammetrie dem Forschungsreisenden ein wertvolles Hilfsmittel bietet, wurde schon oben (S 3 und S 7) hingewiesen, über derartige Arbeiten ist auch später wiederholt berichtet worden.

Außer für Geländeaufnahmen, zu denen die Spezialaufnahmen von Gletschern (s S 3) und Kratern<sup>4</sup> gezählt werden können, findet die photogrammetrische Methode (und zwar hier im allgemeinen von festen Standpunkten aus) Verwendung zur geographischen Ortsbestimmung (s S 34), bei Architekturaufnahmen (s S 10 und S 26) insbesondere zur Denkmalpflege,<sup>5</sup> zu kriminalpolizeilicher Tatbestandsaufnahmen (s S 16), zur Ausmessung von Röntgenstereogrammen (S 62), zu Modellaufnahmen, z B von Maschinen, Schiffen und Versuchen in Flußbaulaboratorien<sup>6</sup> (vgl auch S 30). Besonders interessante und durch andere Methoden nicht erreichbare Ergebnisse brachte die Anwendung der Photogrammetrie auf Messungen an bewegten oder rasch veränderlichen Objekten. Hierher gehören die Körpermessungen an lebenden Wesen,<sup>7</sup> die Messung von Schwingungen und Deformationen von Bauwerken unter wechselnder Belastung,<sup>8</sup> die Darstellung räumlicher Strömungserscheinungen,<sup>9</sup> die Lösung ballistischer Aufgaben (Anfangsgeschwindigkeiten, Bahn, Schußwerte, Rohrrücklauf)<sup>10</sup> (vgl auch S 132 und S 141), endlich Messungen an Nordlichtern,<sup>11</sup> Wolken<sup>12</sup> (vgl auch S 47 und S 132ff und 139) und Wellen.<sup>13</sup>

<sup>1</sup> K. SLAWIK, Luftbild u Luftbildmess als Hilfsmittel f d Forstwirtschaft, Aerokart Institut Breslau, o J 1927, DERSSELBE, Allg Verm Nachr 41, 1929, S 198.

<sup>2</sup> H. KRUTZSCH, Forstl Jahrb Tharandt, 76, 1925, S 97, A. WEISSENER, Allg Forst- u Jagd Zeitung, Frankfurt 1927, S 335, E. ZIEGER, Mitt a d Sachs forstl Versuchsanstalt zu Tharandt, 3, 1928, S 97.

<sup>3</sup> I. TSCHAMLER, Mitt d k k Geogr Gesellsch, Wien, 1911, M. WEISS, Verh d deutsch Kolonialkongr 1910, S 52, O. v. GRUBER, Int Arch f Photogrammetrie 6, 1919/23, S 156.

<sup>4</sup> Aufnahme d Kraters vom Tang Koeban Prahoe auf Java durch H. LÜSCHER. Vgl Jaarverlag v d topogr Dienst in Nederlandsch Indie 19, 1924, S 81.

<sup>5</sup> E. DOLEŽAL, Int Arch f Photogramm 1, 1908, S 45, DERSSELBE, Int Arch f Photogramm 2, 1911, S 286.

<sup>6</sup> O. LACMANN, Zentralbl d Bauverwaltung, Berlin 1919.

<sup>7</sup> E. LIEBENAU, Mitt d deutschen landwirtsch Gesellsch 20, 1905, S 130, K. GÜRTLER, Bildmess u Luftbildwes 3, 1928, S 18.

<sup>8</sup> FR. STEINER, Die Photographie im Dienste d Ingenieurs Wien 1893, A. BUCHHOLTZ, Bildmess u Luftbildwes 1, 1926, S 12.

<sup>9</sup> R. KATZMAYR, Arch f Photogramm 4, 1913/14, S 42.

<sup>10</sup> C. CRANZ, Lehrb d Ballistik Bd III, herausgeg von C. CRANZ u K. BECKER, Leipzig 1913, L. GUNTHER, Verh d Ver f Beförd d Gewerbefleiß, Berlin, 1913, H. v. CLES, Int Arch f Photogramm 6, 1915, S 7, K. BECKER, Hoerestechn 2, 1924, S 93, A. BUCHHOLTZ, Bildmess u Luftbildwes 1, 1926, S 61.

<sup>11</sup> K. STORMER, Int Arch f Photogramm 3, 1912, S 32.

<sup>12</sup> K. STORMER, Meteor ZS 45, 1928, S 156.

<sup>13</sup> E. KOHLSCHÜTTER, Stereoph Arbeiten, Wellen u Küstenaufn, in Forschungs-

Über die spezielle Verwendung photogrammetrischer Verfahren im Kriege sind — neben einer Reihe von Aufsätzen in Fachzeitschriften — umfassende Darstellungen erschienen<sup>1</sup>. Auch auf die Bedeutung der Photogrammetrie als Hilfsmittel für den Unterricht<sup>2</sup> darf hier hingewiesen werden.

### III. Rekonstruktion des Objektes aus einer Aufnahme

#### A. Aufnahme ebener und ebenflächiger Gebilde

**1. Linienweise Rekonstruktion auf Grund perspektiver Beziehungen.** Allgemeines. Unter der Voraussetzung, daß das Objektiv der Aufnahmekammer perspektivisch richtig abbildet, d. h. frei ist von Verzeichnungsfehlern,<sup>3</sup> ist das auf der Platte erhaltene Bild eine exakte Perspektive des dargestellten Objekts. Der Abstand des perspektivischen Zentrums — des hinteren (bildseitigen) Hauptpunktes des Objektivs — von der bildauffangenden Fläche wird Bildweite genannt. Der Fußpunkt des vom Objektivhauptpunkte auf die Bildebene gefällten Lotes heißt (Bild-)Hauptpunkt, das Lot selbst Achse der Perspektive oder optische Achse der Kammer. Im folgenden wird im allgemeinen die Verwendung von Meßbildern vorausgesetzt, das sind solche Aufnahmen, auf denen die Lage des Bildhauptpunktes irgendwie ersichtlich oder einwandfrei rekonstruierbar ist und bei denen die Bildweite bekannt sein soll. Lage des Bildhauptpunktes und Bildweite bestimmen theoretisch die „innere Orientierung“ einer Aufnahme.<sup>4</sup> Eine durch die Kammerachse gelegte vertikale Ebene schneidet aus dem Meßbild die Hauptvertikale, eine durch den (hinteren) Hauptpunkt des Objektivs gelegte horizontale Ebene den Bildhorizont aus. Die durch den Bildhauptpunkt gezogene Parallele zum Bildhorizont heißt Haupthorizontale. Bei horizontaler Lage der Kammerachse fallen somit Bildhorizont und Haupthorizontale zusammen. Die Lage der letzteren bestimmt — gemeinsam mit der Neigung und Richtung der Kammerachse und der Lage des vorderen (objektseitigen) Objektivhauptpunktes im Raum — die „äußere Orientierung“<sup>5</sup> eines Meßbildes. Ebenso wie die Kenntnis der inneren Orientierung wird im folgenden zunächst auch die Kenntnis der äußeren Orientierung vorausgesetzt. Eine Behandlung des Problems ohne diese Voraussetzungen ist zwar theoretisch möglich,<sup>6</sup> doch kommt ihr keine praktische Bedeutung zu.<sup>7</sup> Zur leichteren Veranschaulichung soll weiter im allgemeinen statt der eigentlichen Bildebene (Negativebene) eine Ersatzbildebene (Positivebene) benutzt werden, die in bezug auf die Hauptebenen des Objektivs symmetrisch zur Negativebene liegt. Ferner soll im allgemeinen angenommen werden, daß die beiden Objektivhauptpunkte in einem

reise S. M. S. „Planet“ 1906/07, Bd. 3, 1907, W. LAAS, ZS. d. Ver. deutsch. Ing. 49, 1905, S. 1889 ff.

<sup>1</sup> L. P. CLERC, Applications de la photographie aérienne, Paris 1920, A. H. CARLIER, La phot. aérienne pendant la guerre, Paris 1921.

<sup>2</sup> F. RIEBESSEL, Photogrammetrie in d. Schule, Leipzig 1914, K. KRAUSE, Geogr. Anz. 20, 1919, S. 17, E. F. WALD, Verh. d. 21. Deutsch. Geographentages, Breslau, Berlin 1925, S. 212.

<sup>3</sup> Vgl. hierzu S. 108.

<sup>4</sup> Näheres hierüber s. S. 103.

<sup>5</sup> Vgl. hierzu S. 104 und S. 164.

<sup>6</sup> Vgl. z. B. F. SIEINER, Die Photographie im Dienste d. Ingenieurs, Wien 1893.

<sup>7</sup> S. FINSTERWALDER, Jahresber. d. Deutsch. Math. Vereinig. 6, 1897, 2, S. 15 u. 40.

Punkt, dem optischen „Mittelpunkt“ des Objektivs zusammenfallen. Abb. 2 zeigt die Negativ- und Positivebene für den Spezialfall der wagrechten Kammerachse. Der Bildhauptpunkt der Aufnahme wird mit  $H$ , der Objektmittelpunkt mit  $O$  und die Bildweite mit  $f$  bezeichnet. Mit  $h-h$  bzw. mit  $v-v$  sind die Abbildungen der in der Kammer angebrachten sogenannten „Meß-“ oder besser „Bildmarken“<sup>1</sup> bezeichnet. Der Schnittpunkt ihrer in der Abbildung angedeuteten winkelrecht aufeinander stehenden Verbindungslinien definiert den Bildhauptpunkt<sup>2</sup>. Wird durch besondere Einrichtungen (Labellen) an der

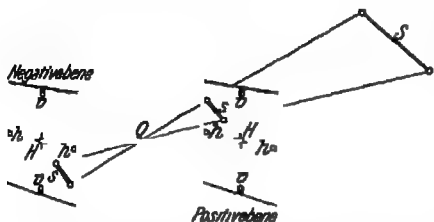


Abb. 2 Beziehung zwischen Negativ und Positiv

Kammer dafür gesorgt, daß  $h-h$  wagrecht ist, so ist diese letztere Linie die Haupthorizontale,  $v-v$  aber die Hauptvertikale des Meßbildes. Eine Objektstrecke  $S$  ergibt auf der Negativ- bzw. der Positivebene die Bildstrecke  $s$ .

Beispiel einer Rekonstruktion. Die Rekonstruktion eines Objektes nach Grund- und Aufriss wird besonders einfach, wenn es sich um

ebenflächige Gebilde, als etwa um Architekturen handelt. Hier genügt gewöhnlich schon ein einziges Meßbild zur Rekonstruktion, im Gegensatz zu Objekten mit beliebiger Oberflächenform, für deren Rekonstruktion, wie auf S. 35 gezeigt wird, im allgemeinen mindestens zwei Meßbilder notwendig sind. Die Vereinfachungen ergeben sich aus den im wesentlichen senkrechten und wagrechten Begrenzungslinien der Körperflächen und aus dem Umstand, daß stets mehrere der Wagrechten winkelrecht zueinander stehen.

Von den Elementen der

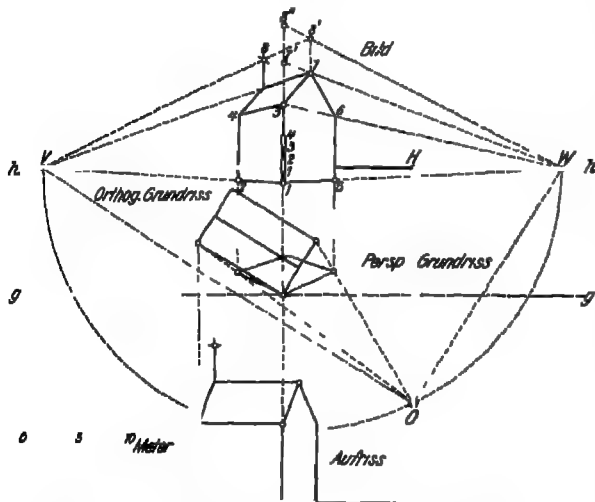


Abb. 3 Rekonstruktion einer Architektur auf Grund perspektiver Beziehungen

äußeren Orientierung bedarf man, falls auf die Kenntnis des Maßstabes der Rekonstruktion verzichtet wird, grundsätzlich nur der Lage des Bildhorizontes, den man, wie das zweckmäßig ist, durch Vertikalstellung der Bildebene durch deren Hauptpunkt gehen läßt.

Das hiernach anzuwendende Verfahren zeigt Abb. 3, in der  $h-h$  die Haupthorizontale und damit zugleich der Horizont der gegebenen Perspektive des Hauses ist.  $H$  sei der Bildhauptpunkt. Denkt man sich die Horizontalebene durch den Objektmittelpunkt  $O$  durch Drehung um  $h-h$  in die Bildebene umgelegt, so zeigt sich hier  $O$  selbst, wobei  $HO$  winkelrecht auf  $h-h$  steht und gleich der Bildweite  $f$  der Aufnahmekammer ist.

<sup>1</sup> Vgl. S. 104.

<sup>2</sup> Diese Definition gilt nur unter gewissen Voraussetzungen, vgl. S. 157.

Irgendwelche parallele Geraden im Objektraum schneiden sich in einem endlich fernen Punkt, dem Verschwindungspunkt des Parallelenbüschels, den die Parallelen horizontal, so liegt der Verschwindungspunkt im Horizont, Bild also auf der Linie  $h-h$ . Verlängert man daher im Bild die horizontalen Hauskanten 1—2 und 3—4, so werden sie sich in einem Punkte  $V$  schneiden, auf  $h-h$  liegen muß (Zeichenkontrolle). Die im Raum ebenfalls parallelen horizontalen Hauskanten 1—5 und 3—6 ergeben in gleicher Weise als Perspektiv ihres Verschwindungspunktes den Punkt  $W$  auf  $h-h$ . Denkt man sich durch das Zentrum  $O$  der Perspektive eine Parallele  $z$   $B$  zu der Dachkante 3—4 gezogen, so muß diese ebenfalls durch den Verschwindungspunkt  $V$  gehen, entsprechend muß auch eine durch  $O$  gezogene Parallele zu der Hauskante 5 den Punkt  $W$  passieren. Da nun  $OV$  bzw.  $OW$  die Grundrisse der Richtungen der Hauskanten darstellen, diese aber erfahrungsgemäß winkelrecht zueinander stehen, so muß der Winkel  $VOW$  ein rechter Winkel sein (Zeichenkontrolle).

Zur Entwicklung des Grundrisses wählt man eine Horizontalebene, die etwa maßig ziemlich tief unter dem Aufnahmehorizont angenommen wird. Schnittgerade (Spur) dieser Grundrißebene mit der Bildebene sei  $g-g$ .

Auflößebene kann jede beliebige Vertikalebene parallel zur Bildebenewendung finden, beispielsweise diejenige, die durch die Hauskante 3 geht.

Die Eckpunkte der Perspektive des Grundrisses in der gewählten Grundrißebene liegen offenbar in der Verlängerung der vertikalen Hauskanten. Seiten der perspektiven Grundrißfigur müssen mit ihren Verlängerungen aber notwendig durch die entsprechenden Verschwindungspunkte gehen. Der perspektive Grundriß ist also ohne weiteres zu zeichnen. Der eigentliche isogonale Grundriß wird sichtbar durch Umlappen der Grundrißebene in die Bildebene um die Spur  $g-g$ . Die Eckpunkte der Grundrißfigur müssen also auf den von  $O$  aus durch die Ecken des perspektiven Grundrisses gehenden Zielstrahlen liegen, im übrigen aber müssen die Seiten der Grundrißfigur parallel zu den Zielstrahlen  $OV$  bzw.  $OW$  nach den entsprechenden Verschwindungspunkten sein.

Für den Aufriß ergibt sich die Lage der vertikalen Hauskanten ohne weiteres. Hinsichtlich ihrer Länge erkennt man folgendes. Da die Auflößebene, in der die vertikale Hauskante 1—3 selbst gelegt wurde, so ist für diese Kante die Größe im Aufriß gleich der Größe im Bilde. Dabei ist allerdings der Maßstab, in dem diese Hauskante (und natürlich auch der Grundriß) gezeichnet wurde, noch unbekannt. Man findet ihn in der Praxis zweckmäßig dadurch, daß man irgend in der Aufnahme an der Hauskante 1—3 einen geeigneten Maßstab anbringt. Die Höhe eines beliebigen anderen Punktes des Bauwerkes über dem Nullpunkt angenommenen Punkt 1 findet man, indem man auf der Verlängerung der Kante 1—3 denjenigen Punkt aufsucht, der mit dem gesuchten Punkt gleicher Höhe, also auf einer horizontalen Geraden liegt. Denkt man sich beispielsweise durch den Punkt 7, die Firstspitze, eine Wagrechte parallel zur Hauskante 1—5 gezogen, so geht diese Wagrechte im Bild durch den Verschwindungspunkt  $W$ . Die Verlängerung der Linie  $W-7$  schneidet auf der Verlängerung der Kante 1—3 den Punkt  $7'$  aus, dessen Entfernung von 1, mit dem im Maßstab gemessenen, die Höhe der Firstspitze 7 ergibt. Die Blitzableiterspitze 8 liegt in einer Vertikalebene durch die Firstspitze 7. Es stellt sonach  $8'$  den Punkt dar, der die gleiche Höhe über 1 hat wie die Blitzableiterspitze. Der Punkt  $8'$  aber liegt wiederum in einer Vertikalebene durch die Hauskante 1—3, so daß auch  $8''$  ebenso hoch über 1 liegt, wie die Blitzableiterspitze,

diese Höhe aber kann nach dem oben Gesagten mit Hilfe des Maßstabes unmittelbar abgelesen werden<sup>1</sup>

**2. Punktweise Rekonstruktion auf Grund perspektiver Beziehungen.** A gemeines Falls das photographisch dargestellte Objekt aus ebenen Linien zügen besteht — in der Praxis wird es sich zumeist<sup>2</sup> um Uferlinien stehend Gewässer oder um sonstige Situationlinien in völlig oder nahezu ebenem und wagrechtom Gelände handeln — ergeben sich aus der perspektivischen Zuordnung der Objektebene zur Bildebene besonders einfache Verfahren zur Rekonstruktion der Objektlinien. In dem (praktisch allerdings nur zufällig eintretenden) Sonderfall, daß die Bildebene streng parallel zur Objektebene

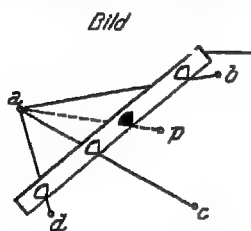


Abb. 4 Richtungsentnahme

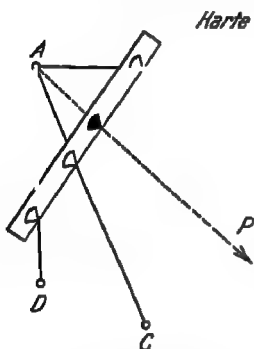


Abb. 5 Richtungsübertragung

(z. B. Luftaufnahmen mit vertikaler Kammerachse und wagrechtom Gelände) ist das Bild dem Objekt sogar geometrisch ähnlich, ergibt also unmittelbar das Objekt (die „Karte“), wobei der Objektmaßstab — auch ohne Kenntnis der inneren Orientierung der Kammer — aus dem Abstand zweier im Bild wieder erkennbarer Objektpunkte folgt. Im allgemeinen Falle (Bildebene beliebig geneigt gegen die Objektebene) kommt man, ebenfalls ohne Kenntnis der inneren Orientierung und auch ohne Kenntnis der äußeren Orientierung, zu einer zunächst punktweise maßstablichen Rekonstruktion, wenn in der Objektebene (Abb. 5) vier Punkte  $ABCD$  ihrer Lage nach bekannt und die ihnen entsprechenden (identischen) Punkte  $abcd$  (Abb. 4) sich im Bilde angeben lassen.

**Vierpunktverfahren.** Für zwei perspektiv aufeinander bezogene Ebenen gilt nämlich der Satz, daß das Doppelverhältnis von vier Strahlen einer Ebene gleich dem Doppelverhältnis der entsprechenden Strahlen in der anderen Ebene ist<sup>3</sup>. Es schneiden also auch die vier Bildstrahlen (Abb. 4) und die ihnen entsprechenden Objektstrahlen auf beliebigen Schnittgeraden je vier Punkte aus, denen je das gleiche Doppelverhältnis zukommt. Auf Grund dieses Satzes kann man mittels eines Papierstreifens das Doppelverhältnis für einen von der Bildebene in die Objektebene (Karte) einzutragenden Strahl  $ap$  gegen drei gegebene Strahlen

$ab, ac, ad$  in die Karte übertragen. Man markiert hierzu (Abb. 4) die Schnittpunkte dieser vier Strahlen an dem geradlinigen Rand des Streifens und paßt diesen dann so in die Strahlen  $AB, AC, AD$  ein, daß entsprechend Schnittpunkte auf entsprechende Strahlen zu liegen kommen. Der Strahl  $A$  (7

<sup>1</sup> Weiteres über die Rekonstruktion von Architekturaufnahmen geben F. STEINER, Die Photographie im Dienste des Ingenieurs, Wien 1893, F. SCHILLING, Über die Anwendung der darstellenden Geometrie, insbes. über die Photogrammetrie, Leipzig und Berlin 1904, E. FEYER, Axonometrische Photogrammetrie, Festschrift d. Techn. Hochschule Breslau Breslau 1927. Über die Praxis speziell der von d. Preuß. Meßbildanstalt ausgef. Architekturaufnahmen unterrichtet A. MEYDENBAUER, Handbuch d. Meßbildkunst in Anwendung auf Baudenkmäler und Reiseaufnahmen, Halle a. S. 1912.

<sup>2</sup> Über die künstliche Herstellung ebener Linienzüge an beliebig ausgeformten Objekten s. S. 28 ff.

<sup>3</sup> Vgl. z. B. E. FEYER, Bildmess. u. Luftbildwes. 2, 1927, S. 100.

ibt dann einen geometrischen Ort für den Punkt  $P$ . Abb 6 und Abb 7 zeigen, man hiernach auf Grund einer Wiederholung des Vorganges, etwa von der  $e$   $d$  bzw.  $D$  aus, den Punkt  $P$  selbst durch eine Art „Vorwärtseinschneiden“ dem Bild in die Karte übertragen kann

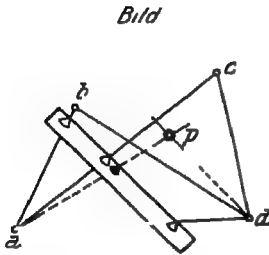


Abb 6 Punktbesetzung durch Richtungen

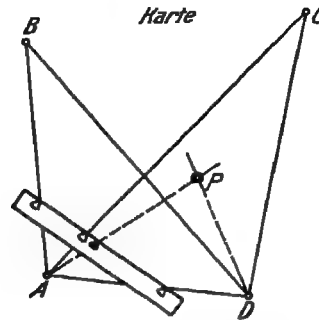


Abb 7 Punktübertragung durch Vorwärtseinschneiden

Allgemeines Bezugsnetz (MOEBIUS-Netz) Sind sehr viele Punkte der Bildebene in die Kartenebene zu übertragen, so ergänzt man zweckmäßig Bildviereck  $abcd$  (Abb 8) zunächst durch Ziehen der Diagonalen  $ac$  und  $bd$ , den Schnittpunkt  $m$  ergeben, und durch Ziehen der beliebigen Geraden  $am$  und  $ym$  zu einem einfachen Netz. Dem Diagonalschnittpunkt  $m$  im Bild spricht der Diagonalschnittpunkt  $M$  in der Karte (Abb 9). In ihr wird der Punkt  $X$  nach dem in den Abb 4 und 5 dargestellten Verfahren durch Übertragung der Strahlenrichtung  $aa'$  aus dem Bild in die Karte gefunden. Ebenso ergibt sich der Kartenpunkt  $Y$  aus dem Bildpunkt  $y$ . Mit Hilfe dieser Punkte lassen sich dann die Maschen beider Netze, ahnend wie es die Abb 9a zeigt, beliebig verkleinern, so daß schließlich einzelne Punkte oder Linienelemente einfach nach dem Maßstab aus dem Bild in die Karte übertragen werden können.

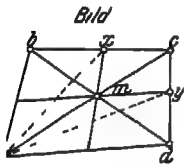


Abb 8 Allgemeines Bezugsnetz im Bild

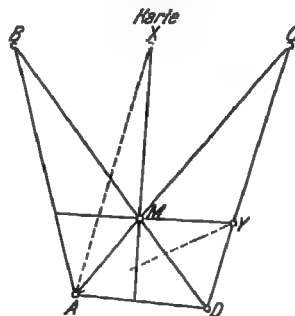


Abb 9 Übertragung des Netzes in die Karte

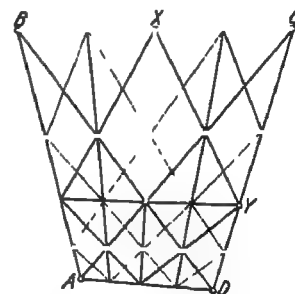


Abb 9a Netzverdichtung

n, so daß schließlich einzelne Punkte oder Linienelemente einfach nach dem Maßstab aus dem Bild in die Karte übertragen werden können.

Reguläre Bezugsnetze Falls innere und äußere Orientierung der Aufnahme bekannt sind, wie wir das im allgemeinen ja zunächst voraussetzen, ist die Rekonstruktion der Objektlinien in vorgeschriebenem Maßstab ohne Kenntnis der gegenseitigen Lage einzelner Objektpunkte möglich. Die Rekonstruktion erfolgt zweckmäßig wieder mit Hilfe von Netzen, denen man aber hier eine regelmäßige Form geben kann.

Im allgemeinen denkt man sich hierzu die (gewöhnlich wagrechte) Objekt



ebene, z. B. den Spiegel eines Sees (Abb 10) mit einem Quadratnetz, dessen Seiten etwa 100 m lang sein sollen, überdeckt und zwar so, daß die Quadrat-

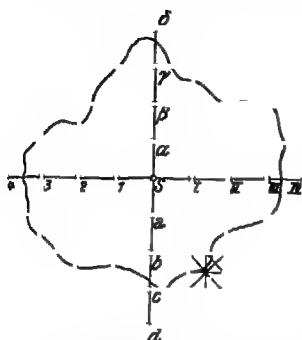


Abb 10 Regulares Kartennetz

seiten parallel zur Haupthorizontalen  $h-h$  des Meßbildes (Abb 11) bzw. parallel zur Richtung der Kammerachse sind. Bei einer Aufnahme des Sees in einer beliebigen Höhe über dem Spiegel desselben würden bei horizontaler Kammerachse alle Quadratseiten, die parallel zu dieser Achse sind, aus perspektiven Gründen auf den Hauptpunkt  $H$  konvergieren (Abb 11), während die Abstände der der Haupthorizontalen parallelen Quadratseiten gegen  $H$  zu immer geringer werden. Diese Perspektive des Quadratnetzes ist an Hand eines Vertikalschnittes durch die Kammerachse leicht zu konstruieren. In Abb 12 ist  $OH$  die Bildweite in natürlicher Größe,  $v-v$  die Bildspur

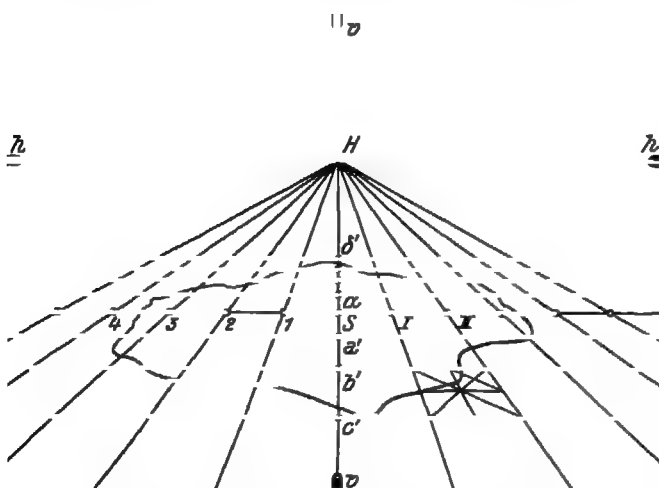


Abb 11 Perspektive des regulären Kartennetzes

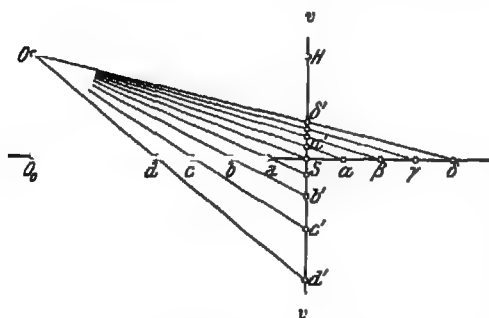


Abb 12 Konstruktion der Perspektive

ebene als der Kartenebene angehört. Die auf dieser Parallelen liegenden Quadratseiten haben also die angenommene Länge von 100 m im gewählten Zeichnungsmaßstab. Durch Verbindung der so gefundenen Punkte I, II

bzw. die Hauptvertikale  $OO_0$  sei (im gewünschten Maßstab des Lageplanes) die Höhe des Kammerobjektivs über dem Seespiegel  $O_0S$ . Teilt man nun von  $S$  aus, dem Schnittpunkt von Hauptvertikale und Seespiegel, die Spur des Spiegels in gleiche Teile von z. B. 100 m Länge (wieder im gewünschten Maßstab des Lageplanes), so schneiden die Verbindungslinien von  $O$  mit den Teilpunkten  $d' c' b' a' S a' \beta' \gamma' \delta'$  die entsprechenden Punkte  $d' c' b' a' S a' \beta' \gamma' \delta'$  auf der Hauptvertikalen  $v-v$  aus. Die Abstände dieser letzteren Punkte vom Hauptpunkt  $H$  überträgt man auf die Hauptvertikale im Meßbild (Abb 11) und zieht durch die so erhaltenen Punkte Parallele zu  $h-h$ . Die Konstruktion der konvergierenden Linien ergibt sich aus dem Umstand, daß die durch  $S$  gezogene Parallele zu  $h-h$  sowohl der Bild-

ebene als der Kartenebene angehört. Die auf dieser Parallelen liegenden Quadratseiten haben also die angenommene Länge von 100 m im gewählten Zeichnungsmaßstab. Durch Verbindung der so gefundenen Punkte I, II

1, 2 mit  $H$  wird somit das perspektive Netz fertiggestellt, aus diesem trägt man die Umrißlinien in die entsprechenden Maschen des im gewählten Maßstab gezeichneten Quadratnetzes der Objektebene (Abb 10) im allgemeinen stückweise, erforderlichen Falles mit Benutzung der schon besprochenen

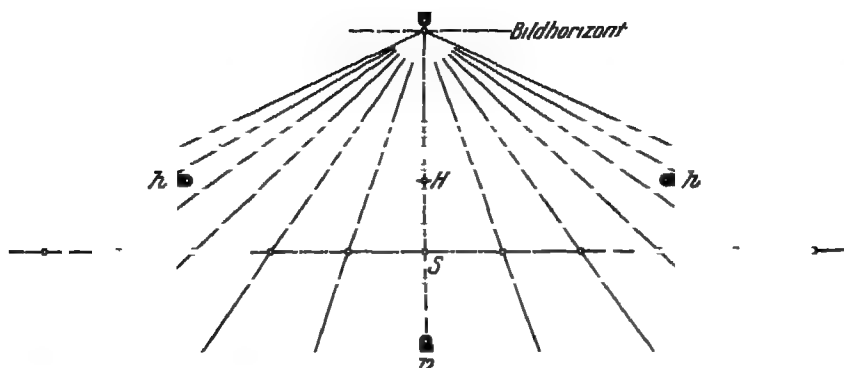
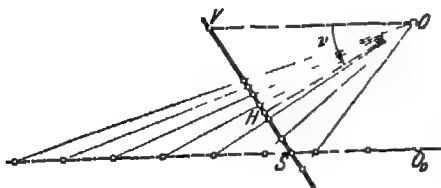


Abb 13 Reguläres Bildnetz bei geneigter Aufnahme

b 9 a) Hilfskonstruktionen An Stelle der Standpunkthöhe  $OO_0$  kann zur (übertragbaren) Maßstabsbestimmung die Entfernung zweier im Bild identifizierbaren Geländepunkte dienen

Bei Aufnahmen mit geneigter Kammerachse erfolgt die Konstruktion der Perspektive der Geländequadrate (Abb 13) im wesentlichen in der gleichen Weise, nur liegt hier der Konvergenzpunkt (Hauptpunkt) der zur Aufnahmerichtung senkrechten Quadratseiten natürlich nicht im Hauptpunkt  $H$ , sondern im Mittelpunkt des Bildhorizontes und der optischen Vertikalen  $v-v$ . Aus Abb 14 sind alle notwendigen Konstruktionseinzelheiten zu sehen. In Abb 15, in der die Kartenebene in Drehung um die gemeinsame Schnittlinie  $s-s$  in die Bildebene umgeklappt er-



14 Konstruktion des Netzes (vgl. Abb 13)

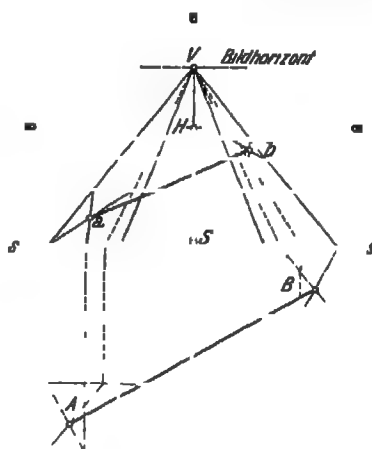


Abb 15 Rekonstruktion einzelner Punkte

unt, ist ein ohne weiteres verständliches Verfahren zur direkten Übertragung des Bildpunktes ( $a$  oder  $b$ ) in die Karte angedeutet.<sup>1</sup> Sind eine größere Anzahl von Aufnahmen auszuwerten, die unter einem bestimmten Neigungswinkel aufgenommen wurden, so wird man das entsprechende perspektivische Netz auf einen durchsichtigen Stoff (Celluloid, Diapositivplatte) auftragen und diese „Ausmeßplatte“ (Abb 16) zur Übertragung der Bilder in das Quadratnetz der Karte benutzen.

<sup>1</sup> Vgl. R. THIELE, Métophotographie aérienne à l'aide de mon Auto-Panoramomètre, Int. Arch. f. Photogram. 1, 1908, S. 35.

Anstatt ein solches Netz nachtraglich auf das Meßbild zu zeichnen oder aufzulegen, kann man es auch im Augenblick der Aufnahme unmittelbar auf diese übertragen, etwa dadurch, daß man in der Kammer dicht vor der lichtempfindlichen Schicht ein mit dem Netz versehenes feste Glasplatte anbringt.

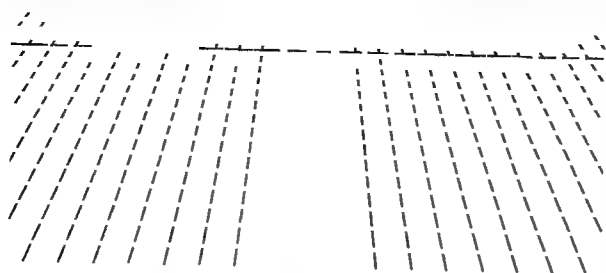


Abb 16 Teil einer Ausmeßplatte für Schrägaufnahmen

In dieser Form ist das Netzverfahren durch FR. EICHBERG<sup>1</sup> in Wien in die kriminalistische Tatbestandsaufnahme eingeführt worden. EICHBERG verwendet ein vor dem oben besprochenen Netz abweichendes, und zwar das von A. BERTILLON angegebene Bildnetz (Abb 17), das aus einer Reihe von Parallelen zur Haupthorizontalen bzw. zur Hauptvertikalen besteht. Das Netz stellt somit die Perspektive eines mit horizontaler Kammerachse aufgenommenen, in einer wagrechten Objektebene (Fußboden) liegenden Netzes von Paralleltrapezen (Abb 18) dar, deren parallele Seiten (Distanzlinien) parallel zur Bildebene liegen und deren andere Seiten

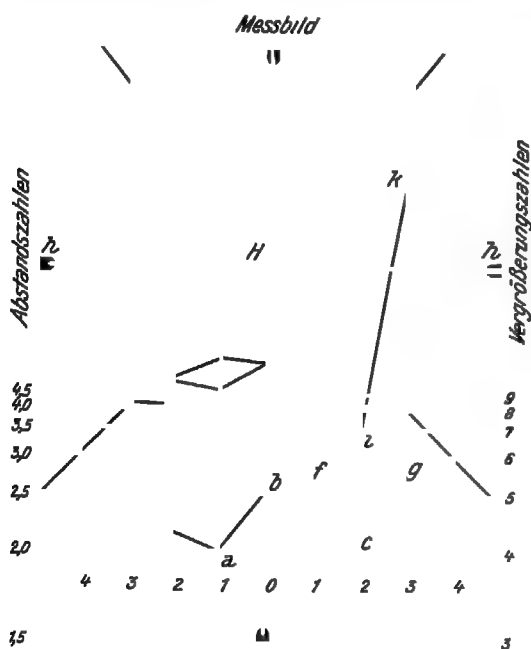


Abb 17 Bildnetz nach Fr. EICHBERG

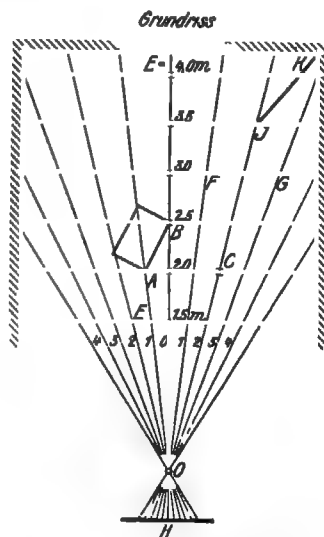


Abb 18 Rekonstruktion des Grundrisses nach Fr. EICHBERG

auf die Horizontalprojektion des Aufnahmeortes  $O$  konvergieren, wobei die Aufnahmerrichtung  $OH$  die Symmetrieachse des Netzes ist. Die parallelen Seiten des Kartennetzes haben gleiche Abstände voneinander und werden von den konvergenten Seiten je in gleich große Abschnitte zerlegt, deren wahre Größen sich aus den entsprechenden Bildgrößen durch Multiplikation

<sup>1</sup> TH. DOKULIL, ZS f. Feinmech. 1910, S. 61

der „Vergrößerungszahl“ ergeben, die den Distanzlinien im Bildnetz rechts geschrieben sind. So ist z. B. die Strecke  $FG$  (vgl. Abb. 18) 6mal größer als Bild. Diese Vergrößerungszahl, die gleich dem Verhältnis des Abstandes der betreffenden Distanzlinie (Abb. 17, linker Bildrand) von  $O_0$  zur Bildweite  $f$  ist, selbstverständlich für alle Strecken, die in der Vertikalebene durch die betreffende Abstandslinie liegen, weil ja diese „Abstandsebenen“ (vgl. die gestrichelten Linien in Abb. 19) parallel zur Bildebene sind. Die Vergrößerungszahlen

geben also auch die Berechnung der Höhen einzelner Objektpunkte über dem Fußboden. Ist z. B. die vertikale Kante kastenförmigen Körpers 4mal größer als die im Bild über  $a$  gezeichnete Kante. Für die Kartierung Grundrisses werden fertige Besetznetze im Maßstab 1 : 25 verwendet, die zweckmäßig auf Pausen gedrukt sind, um Aufnahmen desselben Objekts von verschiedenen Seiten leicht zusammen-

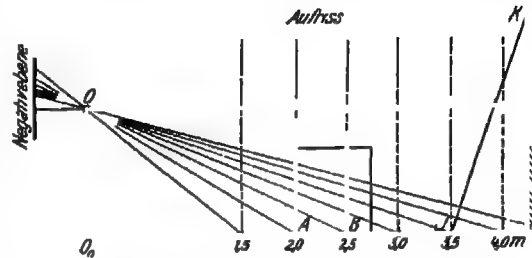


Abb. 19 Rekonstruktion des Aufrißes nach F. EICHBERG

setzen zu können. Das Verfahren erfordert natürlich eine unveränderliche Höhe Objektmittelpunktes  $O$  über dem Fußboden und eine unveränderliche Bildweite  $f$  der Aufnahmekammer (vgl. S. 134).

Ein anderes Verfahren für Tatbestandsaufnahmen wurde von P. HEINDL<sup>1</sup> in Dresden vorgeschlagen. Hier wird eine quadratische Platte von bekannter Größe mit eingezeichneten Diagonalen auf den Fußboden gelegt und fotografiert, nachdem sie zuvor mit Hilfe der Mattscheibe so ausgerichtet wurde, daß eine ihrer Kanten parallel der Haupthorizontalen wird. Die in der Aufnahme enthaltene Perspektive des Quadrates läßt sich zu einem (regulären) Gitternetz erweitern, mit dessen Hilfe Grund- und Aufriß des Objektes leicht gewonnen werden können. Das HEINDLSche Verfahren erfordert mehr Konstruktionsarbeit als das EICHBERGSche, kann aber dafür mit jeder beliebigen Kammer durchgeführt werden, deren Bildebene auch geneigt sein darf.

**3. Flächenweise Rekonstruktion auf Grund perspektiver Beziehungen (Entzerrung).** Allgemeines. Das eben geschilderte Vierpunkt- bzw. Netzverfahren ist zwar bei jeder beliebigen Neigung der Kammerachse zur Objektebene zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  anwendbar, erfordert aber, wie die auf S. 24 beschriebene Methode, eine immerhin mühsame punktweise Rekonstruktion. Handelt es sich darum, eine größere Anzahl von Bildpunkten oder gar den gesamten Inhalt zu rekonstruieren, so wird zweckmäßiger ein optisches Verfahren anzuwenden, das man als „(photographische) Umbildung“ oder „Entzerrung“ bezeichnet. Die Anwendbarkeit dieses photomechanischen Verfahrens ist allerdings aus Gründen, die in der Konstruktion der zu verwendenden Geräte liegen, praktisch beschränkt<sup>2</sup> auf Neigungswinkel zwischen  $45^\circ$  und  $90^\circ$ , seine rationellste und wichtigste Verwendung findet es bei Neigungswinkeln, die wenig von  $90^\circ$  abweichen, bei denen also das Bild nahezu parallel der Objektebene ist.

Das Entzerrungsverfahren wird außer zur Umbildung von schräg auf-

<sup>1</sup> P. HEINDL, Photogrammetrie, Leipzig 1915.

<sup>2</sup> Ohne Einschränkung hinsichtlich des Neigungswinkels sind für eine flächenweise mechanisch automatische Umbildung oder Entzerrung anwendbar die auf S. 86 beschriebenen Universal-Ausmeßgeräte.

genommenen Architekturbildern<sup>1</sup> vor allem verwandt zur Rekonstruktion von mehr oder weniger steil aufgenommenen Luftbildern. Hier ist die nachst als eben angenommene) Geländefläche die Objektebene. Dabei kann wie im folgenden, für die Praxis<sup>2</sup> stets angenommen werden, daß die Geländefläche horizontal ist.

**Theoretische Grundlagen.** Bei ebenem, horizontalem Gelände ist die Karte, d. h. die Parallelprojektion des Geländeobjektes, diesem geometrisch ähnlich und das Luftbild ist als Zentralprojektion (Perspektive) der Karte dieser unmittelbar perspektiv zugeordnet. Für eine optische Transformation des Bildes in die Karte ist es nun notwendig, beide in eine perspektivische Lage einander zu bringen, das kann zunächst offenbar dadurch geschehen, daß dem Bild die gleiche Lage zur Karte gibt, die es im Augenblick der Aufnahme hatte. In diesem Falle besteht die Umbildung in einer einfachen Umkehrung des Aufnahmeprozesses mit Hilfe eines Projektionsapparates. In der Abbildung wird das von der Lichtquelle  $L$  unter Verwendung des Kondensors  $K$  beleuchtete Bild  $B$  durch das Objektiv  $O$  auf die Projektions- (Karten-) Ebene  $P$  abgebildet. Dabei muß die Haupthorizontale des Bildes parallel zur Projektionsebene, der Abstand  $OH$  des Objekts

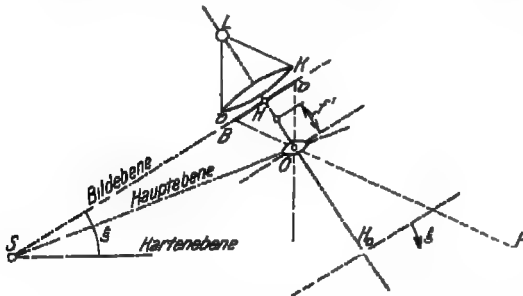


Abb. 20 Umbildung mit winkeltreuem Strahlenbündel

Abstand  $OH$  des Objekts gleich der Bildweite  $f$  der Aufnahmekammer und der Neigungswinkel  $\xi$  zwischen der Projektionsebene und der Kammerachse gleich dem Komplement des Neigungswinkels der Kammerachse im Augenblick der Aufnahme sein. Da die Bildweite der Aufnahmekammer immer nahezu gleich der Brennweite des Objektivs ist, so ist mit einem Projektionsobjektiv von gleicher

Brennweite eine scharfe Abbildung auf die in geringem Abstand liegende Projektionsebene  $P$  nicht zu erzielen. Man muß deshalb als Projektionsobjektiv ein solches mit einer Brennweite  $f'$  verwenden, wobei  $f' < f$  ist. Aus  $OH$  ergibt sich mit der Brennweite  $f'$  des Projektionsobjektivs  $O$  der Abstand  $OH'$ , in dem bei paralleler Lage der Projektionsebene zum Bild dieses in seiner Gesamtheit scharf abgebildet wurde. Da aber die Ebene  $P$  um den Winkel  $\xi$  aus der Normallage herausgedreht wurde, wobei die Drehung um eine Parallele zur Haupthorizontalen des Bildes erfolgte, so wird zunächst nur die Haupthorizontale des Bildes in der Ebene  $P$  scharf abgebildet sein. Zur scharfen Abbildung des gesamten Bildes ist jetzt nach einer von TH. SCHEMPFLUG<sup>3</sup> selbst aufgefundenen und gewöhnlich nach ihm benannten Bedingung die Hauptachse des Objektivs  $O$  so um eine Parallele zur Haupthorizontalen des Bildes zu drehen, daß sie durch die Schnittgerade  $S$  der Bild- und Kartenebene geht. Das Ergebnis einer derartigen Umbildung entspricht völlig einer von  $O$  aus genau senkrecht zur Geländeebene vorgenommenen Aufnahme, deren Bildweite gleich dem Abstand des Objektivs  $O$  von der Kartenebene  $P$  ist.

<sup>1</sup> G. KAMMERER, Int. Arch. f. Photogramm. 3, 1912, S. 196 (dazu Tafel ebendort).

<sup>2</sup> Vgl. z. B. CL. ASCHENBRENNER, ZS. f. I. 46, 1927, S. 578.

<sup>3</sup> TH. SCHEMPFLUG, Phot. Korr. 1898. Die Bedingung ist schon früher E. ABBE angegeben worden (vgl. S. CZAPSKI, Theor. d. opt. Instr. nach ABBE, Br. 1893, S. 27).

Die geschilderte Anordnung der Projektionseinrichtung liefert die Konstruktion des Objekts, d. h. die Karte, in einem nicht willkürlich zu wählenden Maßstab. In Abb. 21 sind die der Abb. 20 zuzunehmenden Verhältnisse zunächst einmal dargestellt, dabei ist  $h$  die Flughöhe im zufälligen Abbildungsmaßstab, der sich aus dem Verhältnis von  $h$  zur tatsächlichen Flughöhe ergibt. Ein bestimmter, vorgeschriebener Maßstab läßt sich nur durch eine ähnliche Vergrößerung oder Verkleinerung der Abbildung, also etwa durch eine photographische Reproduktion, erzielen.

Die Umbildung kann aber auch mittelbar auf einen vorgegebenen Maßstab gebracht werden, wenn man, was im vorliegenden Fall ohne Bedeutung ist,<sup>1</sup> auf verzichtet, daß das aus dem Projektionsobjektiv austretende Strahlenbuschel dem das Bild erzeugenden ursprünglichen Strahlenbuschel winkeltreu. Bild und Karte sind nämlich nur dann einander perspektiv zugeordnet, wenn sie die gleiche Zentrierung gegeneinander haben. Im Augenblick der Aufnahme, gibt vielmehr unendlich viele Möglichkeiten, Bild und Karte in die richtige perspektive Lage zu bringen. Dreht man z. B. die Kartenebene  $P$  um ihre Schnittachse  $S$  mit der Bildebene  $B$  um einen beliebigen Winkel (Abb. 22) in eine neue Lage (Projektionsebene  $P'$ ), so bleiben Bild und Projektionsebene einander perspektiv zugeordnet, wenn gleichzeitig das Projektionszentrum  $O$  die Lage  $O'$  kommt, wobei  $FO'$  parallel der Projektionsebene  $P'$  und gleich dem Abstand des Objektivs  $O$  vom Fluchtpunkt  $F$  ist. Ganz allgemein gelten als „Perspektivumgebungen“

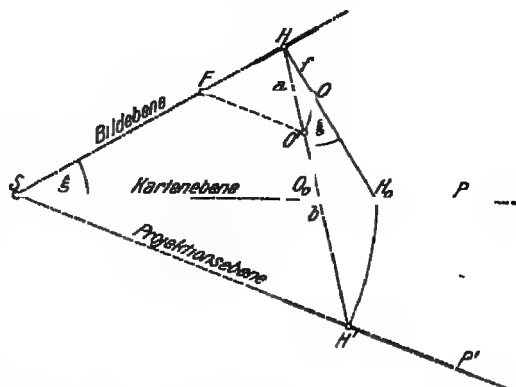


Abb. 21 Umbildung auf vorgeschriebenen Maßstab

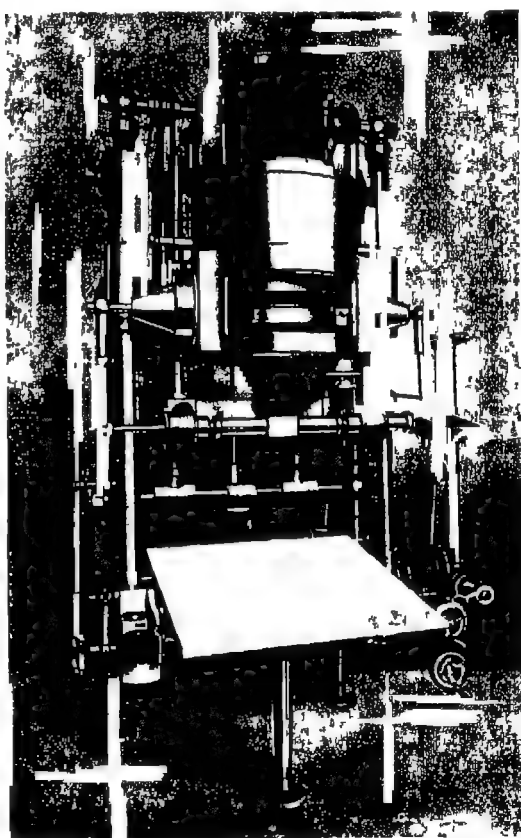


Abb. 22 Entzerrungsgerät nach CL. ASCHENDRENNER der PHOTOGRAMMETRIE G. m. b. H. in München

<sup>1</sup> Vgl. S. 77, Doppelprojektionsgeräte nach SCHEIMPFLUG

1 Allen möglichen perspektiven Lagen von Bild- und Projektions-  
 ist die Schnittgerade  $S$  gemeinsam

2 Hauptpunkt  $H$  und seine jeweilige Perspektive (Projektion)  $H_0$  bzw  
 auf deren Verbindungslinie das Projektionszentrum  $O$  bzw  $O'$  liegen muß  
 halten ihre Abstände von  $S$  bei

3 Die Fluchtlinie  $F$ , d. h. die Abbildung aller unendlich fernen Ki-  
 punkte, bleibt Fluchtlinie für jede  
 beliebigen Neigungswinkel der Projek-  
 ebene gegen die Bildebene

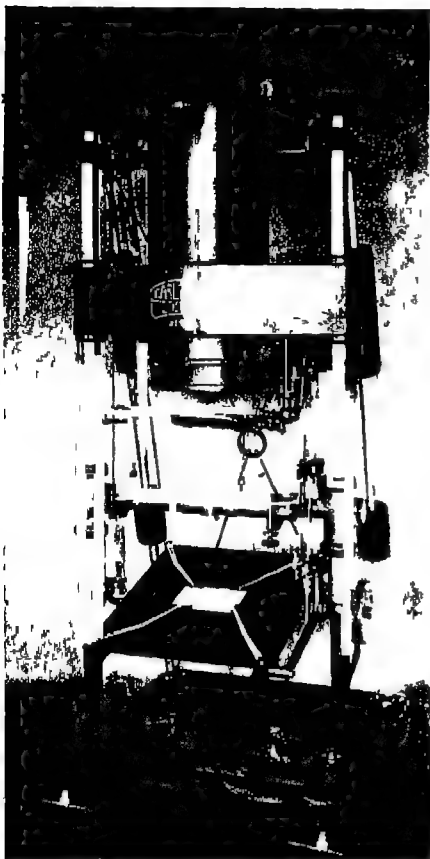


Abb 23 Entzerrungsgerät von C. ZEISS, Jena

Man wird also stets den W  
 zwischen Bild- und Projektionsebe-  
 wählen können, daß die Abs-  
 $HO' = a$  bzw  $O'H' = b$  unter Berück-  
 tigung der Brennweite  $f'$  des Projek-  
 objektivs die Linsengleichung erfüllen  
 ein bestimmtes vorgeschriebenes  
 Stabverhältnis ergeben <sup>1</sup>

In der Praxis der Luftbildmes-  
 werden aus aufnahmetechnischen (i-  
 den und zur möglichen Vermeidung  
 derjenigen Fehler, die durch Abweichung  
 des Geländes von der vorausgesetzten  
 ebenen Form hervorgerufen werden —  
 unten — die Meßbilder möglichst ge-  
 senkrecht nach unten aufgenommen  
 mit wird also der Winkel  $\xi$  (Abb 21)  
 gleich Null Infolgedessen wird der  
 stand des Punktes  $H$  von  $F$  bzw von  
 Schnittgeraden  $S$  und der Abstand  
 Punktes  $O'$  von  $F$  so groß, daß et-  
 Fehler in diesen Abständen mit Rücksicht  
 auf die Größe der Abstände selbst ver-  
 lassen werden können, mit anderen  
 Worten Bei der Umbildung von Aufnah-  
 men die nahezu parallel zur Kartenebene  
 kann auf die strenge Einhaltung der  
 perspektivbedingungen verzichtet wer-

Entzerrungsgeräte Projektions-  
 apparate, die für die geschilderte

bildung geeignet sind, nennt man Entzerrungsgeräte Das erste derartige  
 rät, der „Photoperspektograph“, wurde von SCHEMPFLUG angegeben un-  
 baut <sup>2</sup> In der Praxis werden heute im wesentlichen drei verschiedene Kon-  
 struktionen angewandt, denen allen eine selbsttätige <sup>3</sup> Regulierung des gegenseitigen  
 standes von Bild-, Objektiv und Projektionsebene entsprechend der Li-

<sup>1</sup> Über Einzelheiten s. z. B. O. v. GRUBER, Bildmessung und Luftbildwesen 2,  
 S. 10 Vgl. auch FR. SCHILLING, ZS f. Vermessungswesen 55, 1926, S. 289

<sup>2</sup> TH. SCHEMPFLUG, Phot. Korr. 1906, S. 516 — DERSELBE, D. R. P. Nr. 161  
 v. 15 April 1903

<sup>3</sup> Von den früher verwendeten Entzerrungsgeräten ohne diese selbst-  
 Regulierung sind am bekanntesten das ICA-Gerät und das Gerät von ED. LIESEN  
 ZS f. Verm. 55, 1926, H. 10 u. 11 Dem letzteren entspricht das in Frankreich  
 gebräuchliche Gerät von M. H. ROUSSIER, vgl. S. 40

chung gemeinsam ist. Diese automatische Abstandsregulierung (Selbst-  
ussierung) wird durch sogenannte Inversoren<sup>1</sup> bewirkt, durch deren Be-  
gung zunächst die Haupthorizontale des Bildes dauernd scharf auf die  
jektionsebene abgebildet wird, während man den Abbildungsmaßstab inner-  
b gewisser Grenzen (etwa dem 0,5- bis 3fachen der Bildgröße) durch  
hen eines Handrades oder einer Fußscheibe kontinuierlich ändert.

Die von CL. ASCHENBRENNER (PHO-  
RAMMETRIE, G. m. b. H. in München)  
egebene Konstruktion<sup>2</sup> (Abb. 22)  
nso wie die Konstruktion der Firma  
U. ZWISS<sup>3</sup> in Jena (Abb. 23) ver-  
zen, daß die durch Probieren aufzu-  
findende Richtung der Haupthorizon-  
talen durch entsprechende Drehung  
(Kantung) der Platte parallel zur  
(Gegellagerung) Kippachse des Projek-  
tionstisches gestellt wird. Im übrigen  
bei beiden Geräten je ein Handrad  
und eine Fußscheibe zur Neigung des  
jektionstisches vorgesehen. Letz-  
terer betätigt dann seinerseits beson-  
dere Hebelsysteme, durch welche so-  
wohl die SCHEIMPFLUG-Bedingung als  
auch die Perspektivbedingungen zwang-  
sgermaßen erfüllt werden.

Das dritte, von R. HUGERSHOFF  
ergebene Gerät (AEROTOPOGRAPH G.  
m. b. H. — GUSTAV HEYDE, G. m. b. H.  
in Dresden, Abb. 24) verzichtet auf  
eine der oben angestellten Überle-  
gungen auf eine strenge Erfüllung der  
Perspektivbedingungen und auf eine  
automatische Einstellung der Objekt-  
ivhauptebene in die Schnittgerade  $S$  der  
Bild- und Projektionsebene. Dadurch  
ist der einfache Aufbau und geringes  
Gewicht ohne Beeinträchtigung der  
technischen Verwendbarkeit erzielt.

Der Projektionstisch um zwei winkelmäßig zueinander angeordnete Achsen  
drehbar ist, also in beliebiger Richtung geneigt werden kann, so ist eine Ver-  
stellung der Platte nicht erforderlich. Die zur Erfüllung der SCHEIMPFLUG-  
bedingung notwendige Kippung der Objektivhauptebene geschieht von Hand  
und kann, entsprechend der zufälligen Lage der Haupthorizontalen, eben-  
falls in beliebiger Richtung vorgenommen werden. Die richtige Kippung  
ergibt sich unmittelbar durch den Eintritt einer gleichmäßigen Schärfe des ge-  
wonnenen Projektionsbildes.

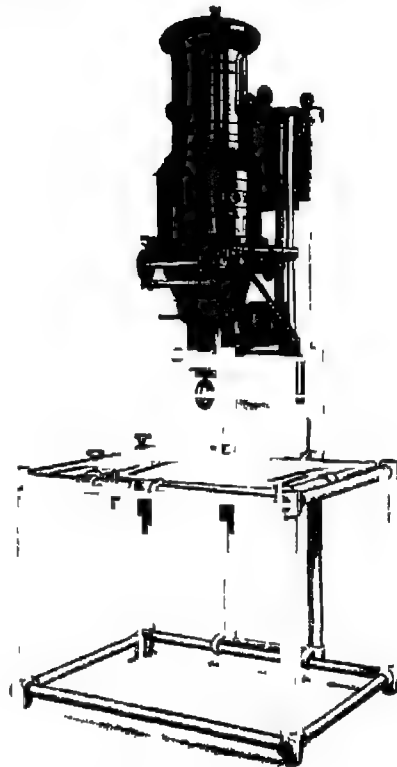


Abb. 24 Entzerrungsgerät nach R. HUGERSHOFF  
der AEROTOPOGRAPH G. m. b. H. in Dresden

<sup>1</sup> O. v. GRUBER, ZS. f. I. 45, 1925, S. 561 bis 573.

<sup>2</sup> CL. ASCHENBRENNER, Mitt. d. Photogrammetrie G. m. b. H., 2, 1926, Nr. 8.  
Zur konstruktiven Einzelheiten dieses Gerätes vgl. D. R. P. Nr. 448106 und  
R. P. Nr. 448107.

<sup>3</sup> O. v. GRUBER, Bildmes. u. Luftbildwes., 2, 1927, S. 10.



Das Aufsuchen der richtigen Neigung des Projektionstisches bzw. die Stellung des gewünschten Maßstabes geschieht bei allen erwähnten Entzerrgeräten durch probierendes Neigen des Tisches und entsprechende Änderung des Bildabstandes, bis die auf einem Zeichenblatt im vorgeschriebten Kartenmaßstab aufgetragenen, ihrer Lage nach bekannten Geländepunkte geeigneter Verschiebung und Drehung des Zeichenblattes mit den entsprechenden Bildpunkten zur Koinkidenz gebracht sind.<sup>1</sup> Notwendige Voraussetzung für das „Einpassen“ ist im allgemeinen die Kenntnis der gegenseitigen Lage von Punkten, also ganz ebenso wie bei dem Vierpunkt- oder dem Netzverfahren, dem diese optische Transformation dem Wesen nach ja gleich ist.<sup>2</sup>

**Einfluß von Unebenheiten des Geländes** Da das Gelände in Ausnahmefällen völlig eben sein wird, ist es wichtig, den Einfluß von Höhenunterschieden der abgebildeten Punkte auf deren Lage in der durch die Umbildung gewonnenen Karte festzustellen.

In Abb. 25 ist ein Vertikalschnitt durch die Aufnahmestandpunkte

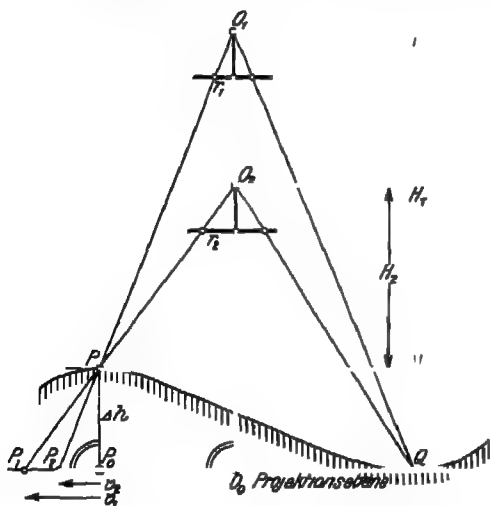


Abb. 25 Einfluß von Geländeunebenheiten auf die Umbildung

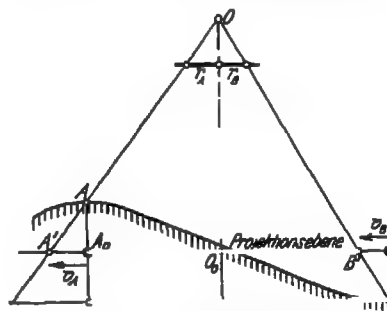


Abb. 26 Übertragung der Paßpunkte auf die Projektionsebene

bzw.  $O_2$  und das von den Aufnahmen überdeckte Gelände gezeichnet. Die Einfachheit wegen genau vertikal gedachten Aufnahmen sollen die Bildweiten haben. Die Projektions- bzw. Kartenebene sei durch den tiefsten Geländepunkt gelegt, der sonach mit seiner Kartenprojektion bzw. mit seiner Umbildung zusammenfällt. Die Kartenprojektion des um  $\Delta h$  höher als  $Q$  gelegenen Geländepunktes  $P$  sei  $P_0$ . Durch die Transformation (hier einfache Vergrößerung) in  $O_1$  bzw.  $O_2$  aufgenommenen Bildes erhält nun  $P$  die (fehlerhafte) Karten  $P_1$  bzw.  $P_2$ , welche Punkte gegen die richtige Kartenlage  $P_0$  die linearen Verschiebungen  $v_1$  bzw.  $v_2$  aufweisen. An Hand der Abb. 25 ergeben sich folgende Beziehungen:

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= \Delta h \cdot \frac{r_1}{f} \\ v_2 &= \Delta h \cdot \frac{r_2}{f} \end{aligned} \right\}$$

und

woraus mit

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{H_2}{H_1}$$

folgt

$$v_2 = v_1 \cdot \frac{H_1}{H_2}$$

<sup>1</sup> Vgl. hierzu z. B. O. v. GRUBER, ZS f. l. 42, 1922, S. 161.

<sup>2</sup> Diese einfache empirische Methode der Bildorientierung ist nicht anwen-

Aus (1) ergibt sich Der Kartierungsfehler wächst mit zunehmender Höhe der betrachteten Punkte über der angenommenen Höhe der Kartenebene, mit zunehmendem Abstand seines Bildes von der Plattenmitte und mit abnehmender Plattenweite

Da  $\frac{r}{f}$  die Tangente der Nadirdistanz des betrachteten Bildpunktes ist, so ergibt aus (1) auch Der Lagefehler wächst mit zunehmender Nadirdistanz, erhöht also, wie auch Formel (3) zeigt, mit abnehmender Flughöhe

Man wird also die zu entzerrenden Aufnahmen aus möglichst großer Höhe und möglichst genau senkrecht vornehmen, die Verwendung einer sogenannten Doppelkammer (vgl. S. 198), einer Doppelkammer, bei der die beiden Kammerachsen bis zu  $20^\circ$  gegen die Vertikale neigt sind, ist also für den vorliegenden Zweck ungeeignet

Die durch die unvermeidlichen Höhenunterschiede des Geländes bedingten unvermeidlichen Fehler kann man verringern, wenn man als Einpaßpunkte möglichst solche von mittlerer Höhenlage und geringem, gegenseitigem Höhenunterschied  $\Delta h$  auswählt. Dabei wird an die Aufnahme nicht auf die wirkliche Lage der gegebenen Punkte einzugehen, sondern auf Ersatzpunkte, die bezug auf den Nadirpunkt  $O_0$  radial

um die Strecken  $v = -\frac{\Delta h}{M} \frac{r}{f}$  verschoben sind, wobei  $M$  die vorgeschriebene Maßstabszahl der Karte ist. Laßt es sich leicht vermeiden, daß die Ausgangspunkte stark verschiedene oder in Bezug auf die durchschnittliche Geländehöhe extreme Höhenlage haben, so wird an als Projektionsebene eine solche in mittlerer Höhenlage (vgl. Abb. 26) gewählt und auch hier die Entzerrung auf Grund der radial verschobenen Ersatzpunkte vorgenommen

Anwendungen Aus den in einheitlichem Maßstab vorgenommenen Umbildungen von anschließenden Einzelaufnahmen (Abb. 27 Teilbild für den Kartenausschnitt in Abb. 28), die zweckmäßig mit einem (Film-) Reihenbildner (vgl. S. 151) ausgeführt werden, wird ein „Bildplan“ hergestellt. Die Einzelaufnahmen werden dabei auf Zeichenpapier aufgeklebt, auf dem die für die Entzerrung verwendeten Paßpunkte aufgetragen sind. Durch geeignete Retusche werden die Bildränder unsichtbar gemacht. Bildplane dieser Art finden vielfach Verwendung als Grundlage für Bauwerksprojekte. Legt man Gewicht auf die Darstellung der eigentlichen Situationlinien, so paßt man diese Linien oder



Abb. 27 Einzelaufnahme des Wattengebietes von Wangerroog (vgl. Abb. 28)

in einem von F. JANTZER gebauten Entzerrungsgerät, das als Integrator bezeichnet wird, da bei ihm die Umbildung durch eine Art photographischer Integration geschieht (D. R. P. Nr. 301355 und Nr. 303317)

überzeichnet sie im Bildplan mit Tusche und bleicht den übrigen Bild aus, wie im Beispiel der Abb 28, das übrigens eine besonders zweckmäßige durch andere Vermessungsmethoden nicht zu ersetzende Anwendung des zerrungsverfahrens zeigt

Es ist selbstverständlich, daß das geschilderte photogrammetrische fahren immer nur einen Lageplan liefert, über dessen Ungenauigkeit<sup>1</sup> nicht völlig ebenem Gelände die oben angestellten Betrachtungen Ausk

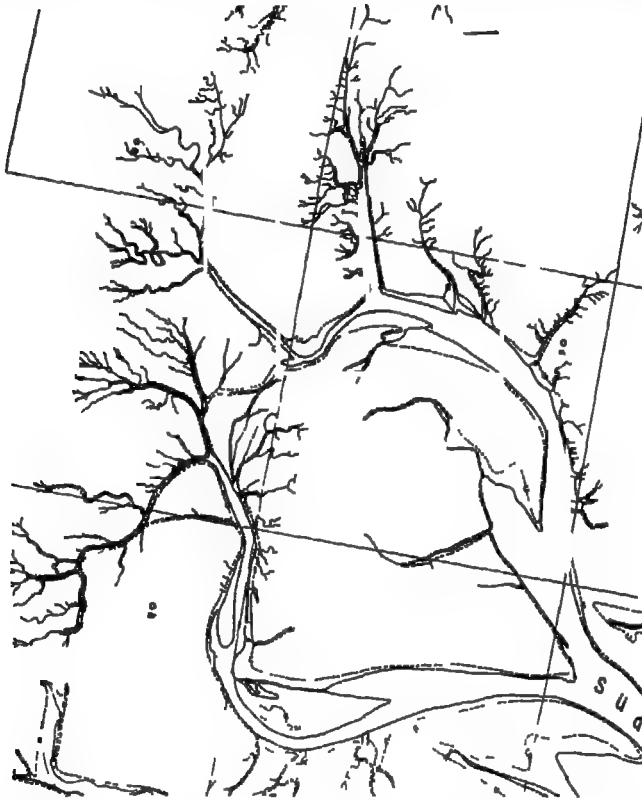


Abb 28 Ausschnitt aus einer Aufnahme des Wattengebietes bei Vangeröge, ausgeführt d. das Reichsanit für Landesaufnahme in Berlin

geben Der Verlauf von Höhenlinien an etwa vorhandenen geringen Baausformungen kann nur durch nachträgliche Messungen im Gelände und Hilfe der üblichen terrestrischen Methoden ermittelt werden Ein Beis hiefur bietet Abb 29

4. Rekonstruktion durch Vermittlung der Bildpunktkoordinaten / gemeines Bei der auf S 18 geschilderten winkeltreuen Umbildung wird (stets ebene) Objekt rekonstruiert durch Wiederherstellung des bilderzeugen Strahlenbuschels An Stelle des dort angewandten optischen (Projektio Verfahrens zur Rückgewinnung des Buschels kann auch eine graphische Meth Verwendung finden Diese Methode, die sich späterhin als Grundlage der

<sup>1</sup> Von besonderem Einfluß sind selbstverständlich etwaige Fehler der Fing punkte Vgl hierzu etwa K GÜTLER, Die Luftwacht, Berlin 1927, Heft 8

nannten Meßtischphotogrammetrie (S 35) als besonders wichtig erweisen wird, ist zwar umständlicher als die Projektionsmethode, ermöglicht aber dafür die Rekonstruktion auch von räumlichen Gebilden, soweit diese ebenflächig und regelmäßig sind. Ein beliebiger bilderzeugender Strahl  $OP$  (Abb 30) durchdringt die Bildebene im Bildpunkt  $p$ , dessen rechtwinklige Koordinaten in bezug



Abb 29 Luftbildplan mit terrestrisch eingemessenen Schichtlinien (Photogrammetrie G m b H in München)

auf das durch die Bildmarken-Verbindungslineen gegebene Achsenkreuz  $x$  und  $y$  wird. Bei vertikaler Bildebene (wie in Abb 30 angenommen) wird also durch die Abszisse  $x$  der Grundriß  $Op_0$  und durch die Ordinate  $y$  der Aufriß  $Op_{90}$  des Strahles  $p$  und damit dieser selbst bestimmt. Über die Rekonstruktion der Bildstrahlen in geneigter Bildebene s. S 37.

Anwendungen. In Abb 31 ist rechts das vertikale Maßbild eines Gebietes wiedergegeben. Links ist der Aufriß und darunter der Grundriß der

wichtigsten Bildstrahlen dargestellt, wobei der Zusammenhang der Bildkoordinaten mit den Strahlenprojektionen für den Punkt  $A'$  der Daol

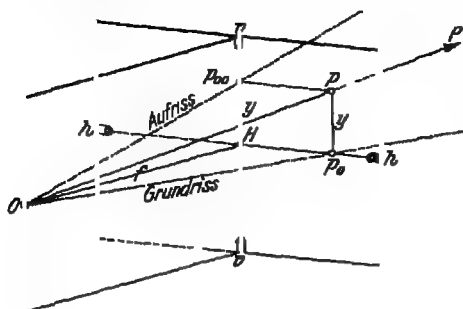


Abb 30 Rekonstruktion einer Richtung mit Hilfe der Bildpunktkoordinaten

struktion in der Figur im einzelnen nicht mehr angedeutet ist. Der zum unbekannte Maßstab der Rekonstruktion wäre durch nachträgliche Ausmessung irgendeiner der rekonstruierten Objektstrecken zu ermitteln.

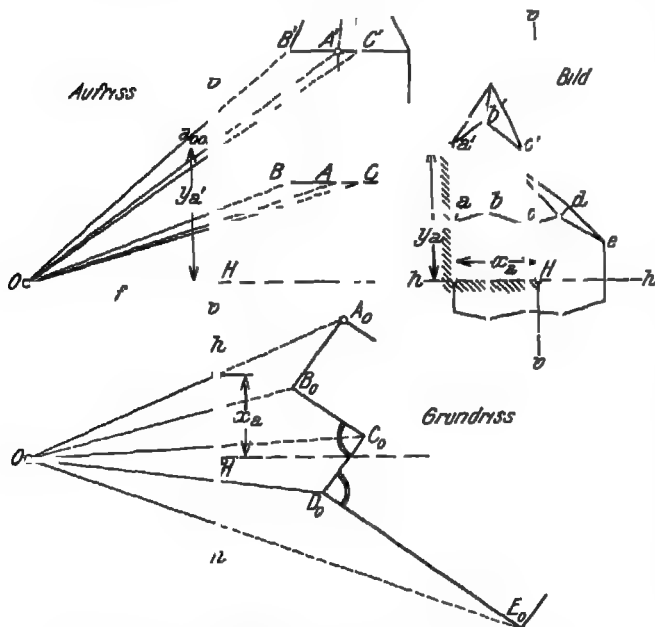


Abb 31 Rekonstruktion eines Gebäudes mit Hilfe der Bildpunktkoordinaten

schied zwischen Objektiv und Objektebene ist. Dabei sind die Richtungen der Bestimmungstrahlen  $O_0P_0$  bzw.  $(O)P_0$  festgelegt durch die auf der Sei-

besonders hervorgehoben ist. Der in einer wagrechten liegenden Eckpunkte  $A'$ ,  $B'$  und der Dachkante ergibt sich aus Schnittpunkten einer beliebigen rechten, also zu  $OH$  parallelen Geraden mit den entsprechenden Aufrissen. Der Grundriß  $A_0$  des Punktes liegt auf der Horizontalprojektion betreffenden Zielstrahl und der Verlängerung des Aufrisses der  $A'$  gehenden vertikalen Turm. Ebenso findet man die Grundrißpunkte  $B_0$  und  $C_0$  und schließlich auch Punkte  $D_0$  und  $E_0$ , deren

Besonders einfach auch hier die Rekonstruktion eines in einer zentralen Ebene liegenden Objektes, z. B. eines Ufers, aus einem zentralen Meßbild (Abb. 32).

Ein beliebiger Punkt  $P_0$  des Ufers ergibt sich weder durch Drehung des Bildstrahles  $OP_0$  um die Grundrißprojektion in die Grundriß-Ebene<sup>1</sup> oder aber die in Abb. 32 bzw. 33 gezeichnete Konstruktion, die darauf beruht:

$$\frac{P_0O_0}{P_0P_0} = \frac{OO_0}{pP_0} = \left( \frac{h}{p} \right)$$

Beliebige Objektpunkte werden also durch Vorwärtseinschnitten der Basis  $O_0$  ( $O$ ) bestimmt, deren Abstand gleich dem Höhen-

R. HUGERSHOFF, Das Photogrammetrische Heidesche Konstruktionsverfahren, Stuttgart 1912, S. 13, A. V. ODENCRANTZ, Bildmessung und Luftbildwesen 3, 1928, S. 10, J. ARNEBERG, Int. Arch. f. Photogrammetrie 5, 1917, S. 169 und 6, 1919/23, S. 10.

raden  $g-g$  von Bild- und Objektebene liegenden Punkte  $p_0$  bzw.  $(p)$  mit den Abszissen  $x$  bzw.  $x + y$

Für die mechanische und kontinuierliche Durchführung dieser Konstruktion hat H. RITTER<sup>1</sup> einen Apparat, den „Perspektographen“ (Abb. 34) angegeben, dessen Aufbau sich eng an die Abb. 33 anlehnt. Er besteht aus einem Lineal  $L_1$  mit einem Führungsschlitz, in dem der gleichschenklige-rechtwinklige

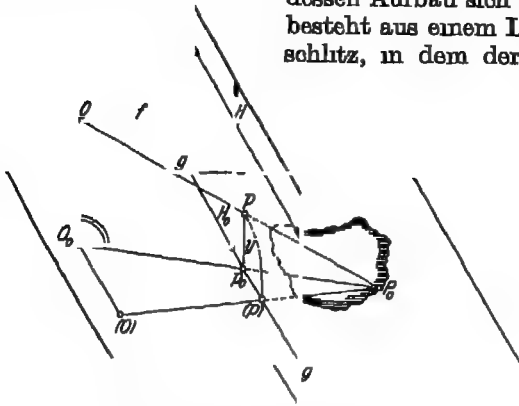


Abb. 32 Aufnahme einer Uferlinie

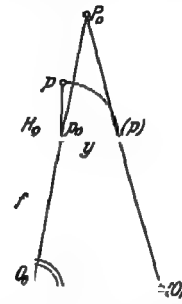


Abb. 33 Punktweise Rekonstruktion der Uferlinie

Winkelhebel 2  $p_0$  3 mit dem Führungsstift  $p_0$  gleiten und sich dabei um diesen Stift drehen kann. An den Enden des Winkelhebels sind die Hebel 3-( $p$ ) bzw. 1  $P$

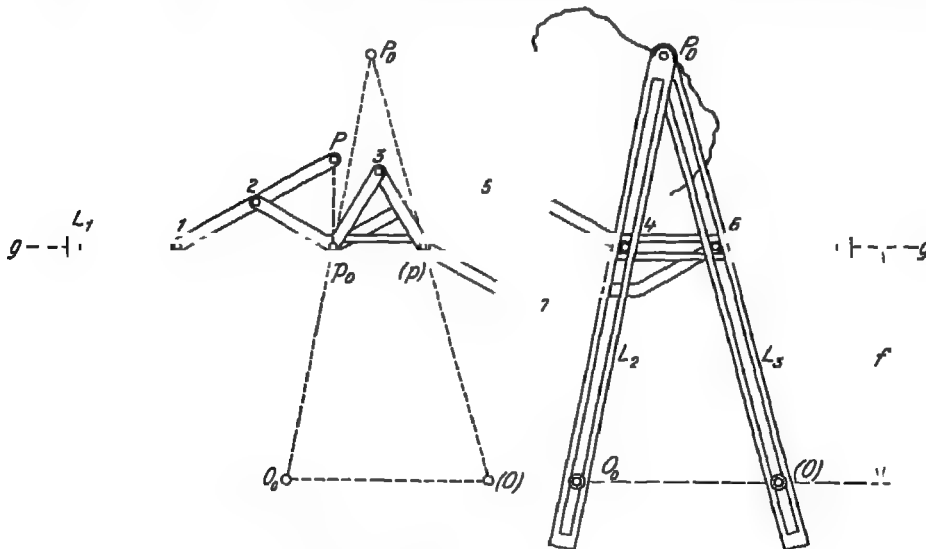


Abb. 34 Perspektograph nach H. Ritter

bleibbar befestigt, ihre Enden gleiten mit den Führungsstiften  $(p)$  bzw. 1 ebenfalls im Schlitz des Lineals  $L_1$ . Da nun die Strecken 1-2, 2  $P$  und 3-( $p$ ) einander gleich sind und ebenso lang gemacht wurden wie die Schenkel des Winkelhebels, so muß die Verbindungslinie  $P-p_0$  stets winkelrecht zum Schlitz des Lineals  $L_1$  und stets gleich dem Abstand der Führungsstifte  $(p)-p_0$  sein.

<sup>1</sup> D. R. P. 29002 vom 13. Okt. 1888

An den Glerstiften  $p_0$  bzw.  $(p)$  sind die Führungsstangen 5 bzw. 7 festigt, deren Enden 4 bzw. 6 wiederum als Führungsstifte ausgebildet sind, die im Schlitz des Lineals  $L_1$  gleiten. Da nun die Strecke 4- $p_0$  gleich der Strecke 6- $(p)$  gemacht wurde, so ist offenbar bei jeder beliebigen Hebelstellung der Abstand 4-6 gleich dem Abstand  $Pp_0$ . Die Stifte 4 und 6 nehmen die beiden Punkte  $P_0$  gelenkig verbundenen und geschlitzten Lineale  $L_2$  und  $L_3$  mit, sich um die festen Zapfen  $O_0$  und  $(O)$  drehen können. Dabei ist die Strecke  $O_0(O)$  parallel zu  $L_1$ , ihre Länge ist gleich dem Höhenunterschied zwischen Aufnahmeobjektiv und Objektebene im vorgeschriebenen Maßstab und Abstand von  $L_1$  ist gleich der Bildweite  $f$  der Aufnahmekammer. Legt man also — ganz entsprechend der Abb. 33 — den Papierabzug (die Kopie) eines Meßbildes so unter das Lineal  $L_1$ , daß die Schnittgerade  $g-g$  der Objektabbildung mit der Bildebene zusammenfällt mit der Mittellinie des Schlitzes von  $L_1$ , umfährt man mit einem in  $P$  zu denkenden Fahrstift die Umrisslinien des Objektbildes, so wird ein in  $P_0$  angebrachter Zeichenstift die Orthogonalprojektion dieser Umrisslinie kontinuierlich aufzeichnen.

## B. Aufnahme beliebiger Raumgebilde

**5. Rekonstruktion auf Grund perspektiver Beziehungen mit Hilfe von Lichtebenen.** Allgemeines. Zur Wiedergabe von Geländeformen bedient man sich am zweckmäßigsten der Schichtlinien, d. h. der Spuren gleichabständiger, in zwar horizontaler Schnittebenen mit der Geländeoberfläche. Diese Schichtlinien werden in der Topographie im allgemeinen punktweise durch Interpolation zwischen beliebigen Punkten von bekannter Länge und Höhe, selten durch direkte Absteckung nachfolgender Kartierung gefunden. Die Kartierung solcher sichtbar abgesteckter Kurven ließe sich am einfachsten auf photogrammetrischem Wege durchführen, die Schnittlinien würden entsprechend den oben behandelten Uferlinien entsprechen. deren Kartenprojektion aus dem Meßbild punktweise oder bei Verwendung des geschuldeten RITTERSchen Perspektographen auch kontinuierlich gewonnen werden können. Während die Sichtbarmachung des Schichtenverlaufes im Gelände praktisch nicht durchführbar ist, können nach einem von K. ZAAR<sup>1</sup> zuerst veröffentlichten Verfahren die Schnittpuren paralleler Ebenen in beliebig ausgeformten, nahe der Kammer aufgestellten Kleinkörpern leicht sichtbar gemacht werden. Laßt man nämlich aus einem in der Bildebene eines Projektionsapparates angebracht schmalen, zunächst horizontalen Spalt ein oberer Lichtstrahlenbuschel austreten und auf den

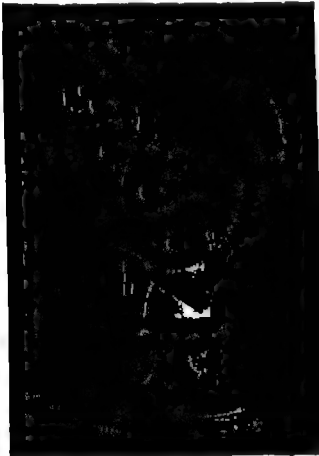


Abb. 35 Aufnahme eines Kleinkörpers mit den Spuren paralleler Lichtebenen nach K. ZAAR

Dunkeln aufgestellten Körper fallen, so wird diese „Lichtebene“ eine photographisch fixierbare Schichtlinie erzeugen. Durch eine parallele Verschiebung von Lichtebene und Körper bei feststehender oder ebenfalls parallel verschobener Kammer erhält man dann beliebig viele dieser Schichtlinien aus dem Meßbild, wobei selbstverständlich vor jeder Verschiebung das Objekt der Kammer zu verschließen ist.

<sup>1</sup> K. ZAAR, Int. Arch. f. Photogram. 4, 1913/14, S. 64ff.

Die Umwandlung der photographisch erhaltenen Perspektive des Schichtenverlaufes in einen orthogonalen Plan wird offenbar am einfachsten, wenn das Bild eine vertikale Stellung hatte, wie im folgenden angenommen sei. Weiterhin zeigt sich, daß die Verwendung von horizontalen Lichtebenen im allgemeinen unzweckmäßig ist. Wie in früheren Ausführungen (vgl. auch die Abb. 12, 19 und 33) hervorgeht, hängt die Sicherheit der Rekonstruktion von dem Höhenunterschied zwischen Objektiv und Schichtenebene ab, die Rekonstruktion wird unmöglich, wenn die Schichtenebene mit dem Bildhorizont zusammenfällt. ZAAH schlug deshalb die Verwendung von vertikalen Lichtebenen vor, die am besten parallel zur Bildebene anzuordnen sind.

Anwendungen. Abb. 35 zeigt den auf solche Weise gewonnenen Schichtenverlauf auf einer Buste. Die hier nur einseitigen Lichtspuren lassen sich um den ganzen Körper herumführen, wenn zwei Projektionsapparate Verwendung finden, die einander gegenüber und aufgestellt sind, daß die von ihnen erzeugten beiden Lichtebenen zusammenfallen. Die Schichtlinien wurden hier durch Parallelverschiebung der Lichtebene bei feststehender Kammer gewonnen. Demnach sind die Abbildungen der Originalschnittabbildungen den letzteren ähnlich, haben aber verschiedenen Maßstab, der um so größer ist, je näher die schnitterzeugende Lichtebene dem Kammerobjektiv liegt.

In Abb. 36 sei  $O$  der optische Mittelpunkt des Objektivs und  $L$  die Aufrißspur der Lichtebene in ihrem großen Abstand  $E$  vom optischen Zentrum. Einer in ihr gelegenen Strecke  $AB$  komme der (aus dem Verhältnis von  $E$  zur Kammerbildweite  $f$  sich ergebende) Bildmaßstab  $m$  zu. Demnach wird die gleiche Strecke bei Annäherung der Lichtebene  $L$  an  $O$  um  $n \cdot d$  einen Bildmaßstab  $M$  zeigen, der sich ergibt aus

$$M = m \frac{E}{E - n \cdot d}$$

Zur Umwandlung der Zentralprojektion der Schnittkurvenschar in ihre auf den Abstand  $E$  bezogene Orthogonalprojektion ist also eine stufenweise Verkleinerung der aufeinanderfolgenden Schichtlinien vorzunehmen, die hier

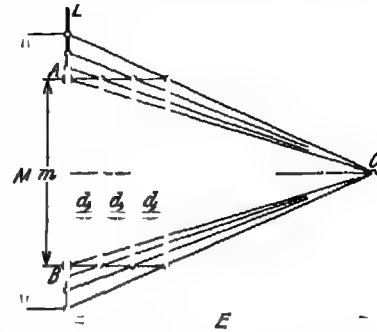


Abb. 36 Ableitung des Maßstabes der Spurenbilder

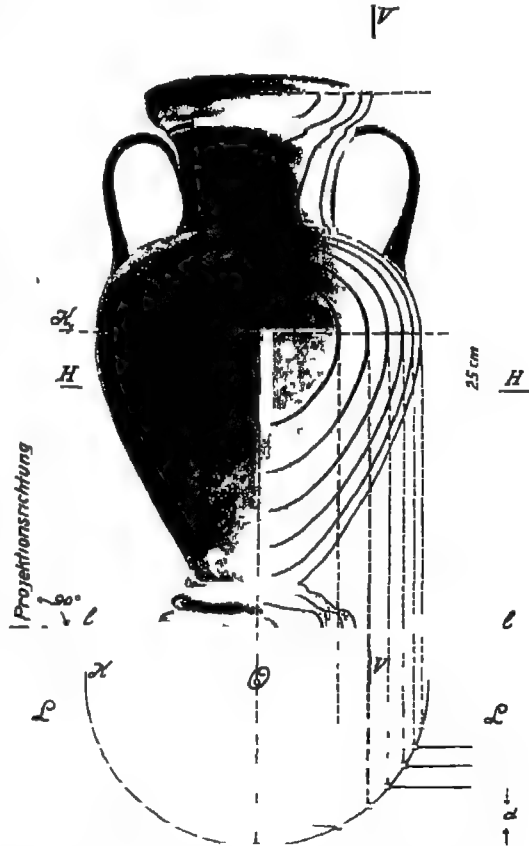


Abb. 37 Gleichmaßstäbliche Spurenbilder nach ZAAH



zweckmäßig auf graphisch-mechanischem Wege mittels Pantographen folgt

Beläßt man die Lichtebene in einem unveränderlichen Abstand vom Objekt und verschiebt dafür das Aufnahmeobjekt parallel zu sich selbst in Richtung auf die Kammer, so erhält man eine Schar von Lichtkurven, denen ein einheitlicher Maßstab zukommt, es ergibt sich hier also die Orthogonalprojektion Schnittlinien unmittelbar. In Abb 37 ist ein Beispiel<sup>1</sup> für dieses Verfahren wie gegeben. Die Aufnahme der Vase selbst geschah dabei gleichzeitig mit der scheinbar am weitesten entfernten Schnittes, der als einziger auf dem Umriss des Vasenkörpers liegt, da ja alle Schnitte ein und derselben vertikalen Ebene angehören, deren Grundrißspur  $L$  ist. In der Abbildung ist die Konstruktion des Grundrisses eines Horizontalschnittes  $K$  angedeutet, hierin ist  $d$  die Strecke um die der Körper jeweils verschoben wurde, und zwar im Maßstab der Schichtprojektion, der sich aus der mit abgebildeten, in der Lichtebene liegenden Strecke von bekannter Länge (25 cm) ergibt.

F. SCHAFFERNAK von der Versuchsanstalt für Wasserbau in Wien hat geschilderten Verfahren eine interessante Anwendung<sup>2</sup> auf die Aufnahme Versuchsgewässern durch Querprofile gegeben. Er verwendet hierzu einen Schienen in Richtung der Achse des Versuchsgewässers fahrbaren Projektionsapparat („Lichtwagen“), der in der oben geschilderten Weise eine vertikale Lichtebene erzeugt, die auf dem Grunde des Versuchsgewässers das jeweilige Querprofil als helle Linie zeigt. Die Aufnahmekammer kann dabei mit dem Lichtwagen unmittelbar verbunden werden, so daß die Profile auch hier sämtlich gleichen Maßstab haben und unmittelbar Verwendung finden können.

Das Verfahren ist sowohl von K. ZAAR als von F. SCHAFFERNAK auch medizinische Zwecke und von E. DOLEŽAL für Propelleruntersuchungen geschlagen worden.

#### 6. Rekonstruktion unter Vermittlung der Bildpunktkoordinaten mit Nutzung von Hilfsbasen. Allgemeines.

Die bisher betrachteten räumlichen Bilder, die nach ihrer Perspektive rekonstruiert wurden, waren durch gekennzeichnet, daß die Oberfläche entweder durch eine Schar von horizontalen und vertikalen Geraden oder durch eine Schar von (künstlich auf die Körper übertragenen) ebenen Kurven bestimmt wurde. In beiden Fällen erreichte ein Meßbild aus zur Ermittlung der orthogonalen Projektionen. Für Körper, denen die Kennzeichen fehlen, wie z. B. einen Geländeabschnitt von hebriger Bodenausformung, ist die

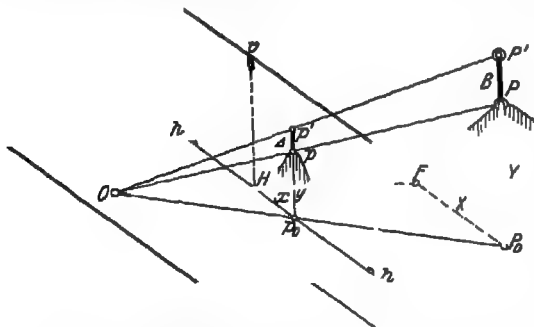


Abb 38 Bestimmung eines Raumpunktes mit Hilfe einer Hilfsbasis

Grund eines Meßbildes nur dann eine — und zwar punktweise — Rekonstruktion möglich, wenn auf den ihrer räumlichen Lage nach zu bestimmenden Punkten eine Strecke (Hilfsbasis) von bekannter (oder stets gleichbleibender) Länge und von bekannter Orientierung zum Meßbild aufgestellt wurde und zur Abbildung kam. Die relative Orientierung der Hilfsbasis ergibt sich v

<sup>1</sup> K. ZAAR, a. u. O. S. 70

<sup>2</sup> F. SCHAFFERNAK, Mitt. d. Techn. Versuchsanst. Wien 1916, vgl. auch E. DOLEŽAL, Referat hierüber im Int. Arch. f. Photogramm. 5, 1916, S. 157

best, wenn bei vertikaler Bildebene eine vertikale Basis Verwendung findet<sup>1</sup>

Anwendung In Abb 38 ist auf einem Geländepunkt  $P$ , dessen Kartenprojektion  $P_0$  ist, eine solche vertikale Hilfsbasis  $B$  aufgestellt. Ihren Endpunkten  $P$  und  $P'$  entsprechen die Bildpunkte  $p$  und  $p'$ , denen die gemeinsame Abszisse  $x$  zukommt und deren Ordinatendifferenz  $\Delta = y' - y$  das Bild der Hilfsbasis ist. Zur Rekonstruktion von  $P_0$  denkt man sich die Vertikalebene durch  $P$  um ihre Horizontalspur  $Op_0$  in die Horizontalebene umgelegt (Abb 39) mit ergeben sich zunächst die Richtungen  $O(p)$  und  $O(p')$  nach den Basispunkten  $(P)$  und  $(P')$ , deren letzteren man mit Hilfe einer Parallelen zu  $O(p)$  durch den Punkt  $m$  findet, wobei  $(p)m = B$  im orderten Maßstab der Rekonstruktion ist. Der Fußpunkt des von  $(P')$  auf die Richtung  $Op_0$  gefällten Lotes ist die gesuchte Kartenprojektion  $P_0$  des Geländepunktes  $P$ , dessen Höhe  $Y$  über dem Aufnahmehorizont  $h$  ergibt aus

$$Y = P_0(P') - B$$

ist gebräuchlich, die Lage eines photographisch bestimmten Kartenpunktes durch seine rechtwinkligen Koordinaten  $x$  und  $E$  in bezug auf ein rechtwinkliges Koordinatensystem anzugeben, dessen Ursprung im Aufnahmestandpunkt  $O$  liegt und dessen  $E$ -Achse mit der Aufnahmerrichtung  $OH$  zusammenfällt. Demnach ist also  $P_0F = X$  und  $OF = E$ . Diese Koordinaten lassen sich, ebenso wie die Höhe  $Y$ , an Hand der Abb 39 auf rechnerischem Wege finden. Es gibt

$$\frac{B}{\Delta} = \frac{(P)O}{(p)O} = \frac{P_0O}{p_0O} = \frac{FO}{HO} = \frac{E}{f},$$

daraus folgt

$$E = f \frac{B}{\Delta} \quad (1)$$

ebenso findet man

$$X = x \frac{B}{\Delta} \quad (2)$$

und

$$Y = y \frac{B}{\Delta} \quad (3)$$

aus diesen Gleichungen, die uns gestatten, die Raumkoordinaten eines Zielpunktes aus einem Einzelbild zu berechnen, wenn sich eine Basis am Zielpunkt befindet, werden wir erneut begegnen bei der Bestimmung eines Zielpunktes aus Bildpaaren, in welchem Falle die Basis am Standpunkt liegt.

Das geschilderte Verfahren läßt sich beispielsweise<sup>2</sup> anwenden zur Aufnahme eines Straßenzuges, den eine Reihe von Telegraphenstangen kenntlich macht. Ist deren (gleich groß angenommene) Länge  $B$  nicht bekannt, so fehlt der Kartierung der Maßstab. Die Messung der Bildpunktskoordinaten  $x$  und  $y$  und der Ordinatendifferenz  $\Delta$  erfolgt zweckmäßig am Originalnegativ. Geeignete Geräte hiezu sind im Abschnitt IV (S 41) angegeben.

<sup>1</sup> V. DOLŽAT, ZS f. Verm., 30, 1907, S 209ff. Über die Verwendung einer horizontalen Basis vgl. P. WERKMEISIER, Int. Arch. f. Photogram., 6, 1910/23, S 67.

<sup>2</sup> Das Verfahren ist von B. SPIEWICK mit Erfolg auch benutzt worden zu Start- und Landungsmessungen v. Flugzeugen. Vgl. 60 Ber. d. Deutsch. Versuchsanstalt Luftfahrt, Berlin-Adlershof, 1929.

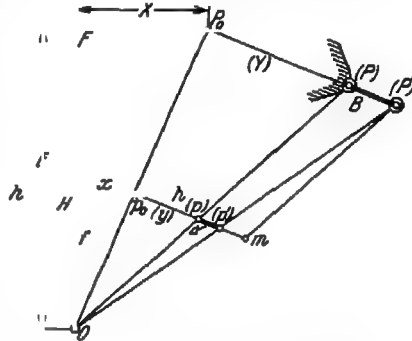


Abb 39 Abbildung der Raumkoordinaten (vgl. Abb 38)



ch Umlappung des Zielstrahles  $Op$  um seine Horizontalprojektion  $Op_0$  in i Bildhorizont gefunden

Hinsichtlich der Rekonstruktion ergeben sich besondere Vorteile,<sup>1</sup> wenn Bildebene winkelrecht zur Spiegelebene steht. Ein Beispiel hierfür, bei dem ferner zwei zueinander parallele Spiegel  $S'$  und  $S''$  Verwendung finden, zeigt Abb 41 im Grundriß. Der Objektpunkt  $P$  ist der Einfachheit wegen als im Aufnahmehorizont liegend angenommen. Zur Feststellung seiner Lage, für die n selbstverständlich auch hier die zu den Spiegelflächen  $S'$  und  $S''$  symmetrischen Aufnahmezentren heranziehen könnte, kommt man auf Grund jender Überlegung. Die (verlangert zu denkenden) Spiegelflächen  $S'$  und  $S''$  bieren die Entfernung zwischen  $P'$  und  $P$  und zwischen  $P$  und  $P''$ , es ist ut die Entfernung zwischen  $P'$  und  $P''$  gleich dem doppelten Spiegelabstand 4 also konstant für jeden beliebigen Objektpunkt

Da  $P'P'' = B$  winkelrecht zu den Spiegelflächen, also parallel zur Bildspur läuft, so ergibt sich der Abstand  $OF = E$  der Strecke  $P'P''$  i  $O$  aus der Proportion

$$\frac{OF}{OH} = \frac{P'P''}{p'p''}$$

r, wenn  $p'p''$  mit  $d$  bezeichnet wird,

$$\frac{E}{f} = \frac{B}{d}$$

$$E = f \frac{B}{d}$$

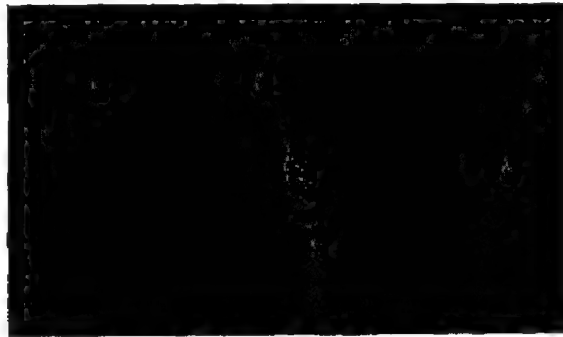


Abb 42 Aufnahme einer Funkenbahn und ihrer Spiegelbilder (nach K ZAAR)

Diese Beziehung entspricht vollkommen der Gleichung (1) auf S 31,  $B$  ist

hier die zur Punktfestlegung erforderliche Basis und  $d$  das Bildselben

Der Punkt  $P$  ist also bestimmt durch die Richtung  $Op$  und durch eine alle zur Bildspur im Abstand  $E$  von  $O$ . Dieser Abstand läßt sich ebenso it durch Rechnung wie durch Konstruktion finden. Für die letztere zieht i eine Parallele zur Bildspur durch  $O$ , trägt auf ihr die Strecke  $OQ = B$  ab zeichnet in  $Q$  die Winkelrechte zu  $QO$ . Ein von  $O$  durch den Punkt  $r$ , dessen tand von  $H$  gleich  $d$  ist, gezogener Strahl schneidet dann auf der Winkelten eine Strecke  $QR$  ab, die gleich  $E$  ist. Für die mechanische Durchführung dieser Konstruktion hat K ZAAR einen besonderen Apparat anben<sup>2</sup>

Ein charakteristisches Beispiel für die Verwendungsmöglichkeit der Spiegelogrammetrie zeigt Abb 42, die eine Aufnahme einer Funkenbahn und ihrer en Spiegelbilder wiedergibt

<sup>1</sup> K ZAAR, a a O, S 269ff Über d Spezialfall, daß die Spiegelebene winkelrecht zur Bildebene steht vgl auch C PULFRICH, ZS f I 25, 1905, S 93ff

<sup>2</sup> DERSELBE, Int Arch f Photogramm 4, 1913/14, S 200ff

### C. Aufnahmen des Himmelsgewölbes

Allgemeines Eine bemerkenswerte Anwendung findet die „Ein-Photogrammetrie“ schließlich noch in Form von Aufnahmen des Himmelsgewölbes zur Bestimmung der geographischen Koordinaten des Aufnahmestandpunktes<sup>1</sup>. Auf einer solchen Perspektive, die in der Kartographie „gnomonische“ Projektion bekannt ist, werden die (den Erdmeridianen entsprechenden) Stundenkreise als Gerade wiedergegeben, die das Bild des Poles als Ver-  
gengspunkt haben, die (den Breitenparallelen entsprechenden) Deklinat-  
parallelen bilden sich im allgemeinen als Kegelschnitte ab, beispielsweise  
konzentrische Kreise, wenn die Aufnahmerichtung nach dem Himmelspol  
2. Auf einer Zeitaufnahme des Nachthimmels hinterläßt jeder zur Abbil-  
kommende Stern eine Spur, die unmittelbar einen Teil seines Deklinat-  
parallels darstellt. Aus den gegenseitigen Versetzungen und Abständen d-  
er Spuren lassen sich die sphärischen Koordinaten eines beliebigen mit  
3. bildeten terrestrischen Punktes ableiten. Beobachtet man dann noch d-

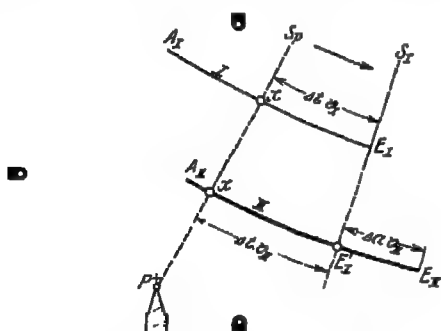


Abb. 43 Aufnahme von Sternspuren

zweier Sterne. Die in Millimetern ausgedruckten Längen  $A_I E_I = l_I$  und  $A_{II} E_{II}$  dieser Spuren entsprechen der Dauer  $t$  der Belichtung. Daher ergibt sich scheinbare lineare Geschwindigkeit  $v$  der Sternbilder in Millimetern aus

$$\left. \begin{aligned} v_I &= \frac{l_I}{t} \\ v_{II} &= \frac{l_{II}}{t} \end{aligned} \right\}$$

Denkt man sich jetzt durch den Endpunkt  $E_I$  der Spur des Sternes I Stundenkreis  $S_I$  gelegt, so muß dieser die Spur des Sternes II in einem Punkt  $E'_I$  schneiden, wobei die Strecke  $E'_I E_{II}$  gleich der bekannten Rektaszen-  
differenz  $\Delta \alpha$  der beiden Sterne im Maßstab des Bildes ist, d. h. es ist in  
mm

$$E'_I E_{II} = \Delta \alpha \cdot v_{II}$$

Man erhält nun beliebig viele Stundenkreise, indem man von  $E_I$  bzw. aus auf den Spuren I und II für gleiche Zeitdifferenzen  $\Delta t$  die ihnen entsprechenden Wegestrecken, nämlich  $\Delta t \cdot v_I$  bzw.  $\Delta t \cdot v_{II}$  abträgt. Insbesondere kann man den Stundenkreis  $S_p$  zeichnen, der durch einen mit abgebildeten irdischen Punkt  $P$  geht. Die Entfernung zwischen den Schnittpunkten  $x$  und  $y$

<sup>1</sup> K. SCHWARZSCHILD, EDERS Jahrb. f. Phot. u. Reprod., 1903, S. 207, R. HUGERSHOFF, Kartographische Aufnahmen und geographische Ortsbestimmung auf F. Sammlung GOSCHEN, Bd. 607, Berlin und Leipzig, 1912.

undenkreeses  $S_p$  mit den Spuren  $I$  und  $II$  in Millimetern entspricht offenbar bekannten Deklinationsdifferenz  $\Delta \delta$  (in Graden) der beiden Sterne. Demnach entspricht in Richtung des Stundenkreises  $S_p$  ein Millimeter einem Winkelwert von  $\frac{\Delta \delta^\circ}{w w'}$ , womit sich aus der Strecke  $x'P$  auch die Deklination  $\delta_p$  des Objektpunktes  $P$  findet. Da nun weiter allen Punkten eines Stundenkreises gleiche Rektaszension  $\alpha$  zukommt, so ist die Rektaszension  $\alpha_p$  des Punktes  $P$  auch der Rektaszension, z. B. des Punktes  $x'$ . Dessen Rektaszension  $\alpha_{x'}$  weicht nach den oben gemachten Ausführungen um  $\frac{\Delta II w'}{v_{II}}$  von der Rektaszension des Sternes  $II$  ab.

Hinsichtlich der Einzelheiten des geschilderten Verfahrens, ebenso wie hinsichtlich der nachfolgenden Berechnung der Uhrkorrektur, des Azimutes  $\alpha$   $P$  und — nach Wiederholung der Aufnahme in anderer Himmelsrichtung — hinsichtlich der geographischen Breite des Beobachtungsortes muß auf die einschlägige Literatur verwiesen werden<sup>1</sup>. Dort sind auch Methoden angegeben, um aus Wiederaufnahmen in Verbindung mit Aufnahmen des Mondes die geographische Lage des Beobachtungsortes zu ermitteln<sup>2</sup>.

Für das besprochene Verfahren ist weder die Kenntnis der inneren noch die Kenntnis der äußeren Orientierung der Aufnahme erforderlich. Kennt man nur diese Orientierungselemente, so lassen sich dem Meßbild nach dem in der Abb. 30 bereits angedeuteten und auf S. 41 weiter ausgeführten Verfahren die Horizontal- und Vertikalwinkel für die Endpunkte der Spuren bekannter Sterne nehmen und damit unmittelbar die geographischen Koordinaten des Aufnahmeortes berechnen<sup>3</sup>.

## 1. Punktweise Rekonstruktion eines beliebigen Objektes aus einem Bildpaar

### Meßtischphotogrammetrie: Getrennte Bearbeitung der Einzelbilder

**§ Rein graphisches Vorwärtseinschneiden mit Richtungsbüscheln.** Allgemein. Zur Rekonstruktion eines beliebigen Körpers sind (mit den im stehendengeschilderten Ausmaßen) mindestens zwei Aufnahmen desselben von verschiedenen Standpunkten aus erforderlich. Das Rekonstruktionsverfahren entspricht im wesentlichen dem in der Vermessungskunde gebräuchlichen Verfahren des „Vorwärtseinschneidens“ einzelner Raumpunkte  $P$  (Abb. 44) von den Endpunkten einer beliebig im Gelände gelegenen Basis  $I II$  aus.

Die Punktbestimmung bedient sich hierbei der von den Basisendpunkten nach den Raumpunkten  $P$  zielenden Strahlen,

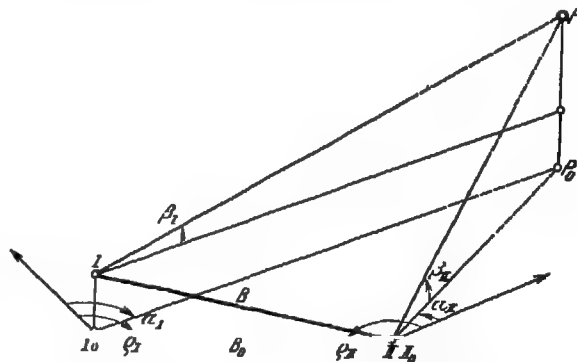


Abb. 44 Prinzip des Vorwärtseinschneidens

<sup>1</sup> R. HUGERSHOFF a. a. O.

<sup>2</sup> O. RUNGE, ZS f. Verm. 22, 1893, S. 304.

<sup>3</sup> C. KOPPE, Photogrammetrie und internationale Wolkenmessung, Braunverlag 1896.

von denen jeder einzelne durch seine Horizontalprojektion und seinen Neigungswinkel bestimmt ist. Die Horizontalprojektion wird entweder unmittelbar graphisch (mittels Meßtisch und Kippregel) oder durch Messung des Horizontalwinkels gegen eine beliebige durch den Winkel  $\varrho$  gegen die Basis festgelegte Nullrichtung (mittels Theodolits) bestimmt. Die Schnittpunkte

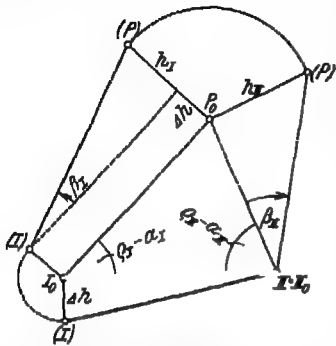


Abb 15 Grundlagen des rechnerischen räumlichen Vorwärtseinschneidens

zusammengehöriger Horizontalprojektionen ergeben den Grundriß der betreffenden Raumpunkte, deren Höhen  $PP_0$  über der Grundrißebene aus den Neigungswinkeln  $\beta_I$  bzw.  $\beta_{II}$  und den eben gefundenen Strecken  $I_0P_0$  bzw.  $II_0P_0$  gewöhnlich durch Rechnung gefunden werden. Die Unterlagen dafür ergeben sich aus Abb 45, in der sowohl die Zielstrahlen, als auch die Raumbasis in die Grundrißebene umgelegt sind. In der Photogrammetrie erfolgt die Festlegung eines Zielstrahles im allgemeinen ebenfalls durch seine Grundrißprojektion und seinen Neigungswinkel, bisweilen aber trotzdem an die Stelle des letzteren die Aufrißprojektion des Zielstrahles (Abb 30, S 26). Die Höhenlage der Zielpunkte kann ebenfalls rechnerisch oder

aber, was meist vorteilhafter ist, auch graphisch bestimmt werden.

**Anwendungen** Das Wesen der rein graphischen Rekonstruktion eines Objektes aus zwei Aufnahmen ist für beliebig gerichtete aber zunächst horizontale Kammerachsen in Abb 46 dargestellt. Der Raumpunkt  $P$  ist auf den Me-

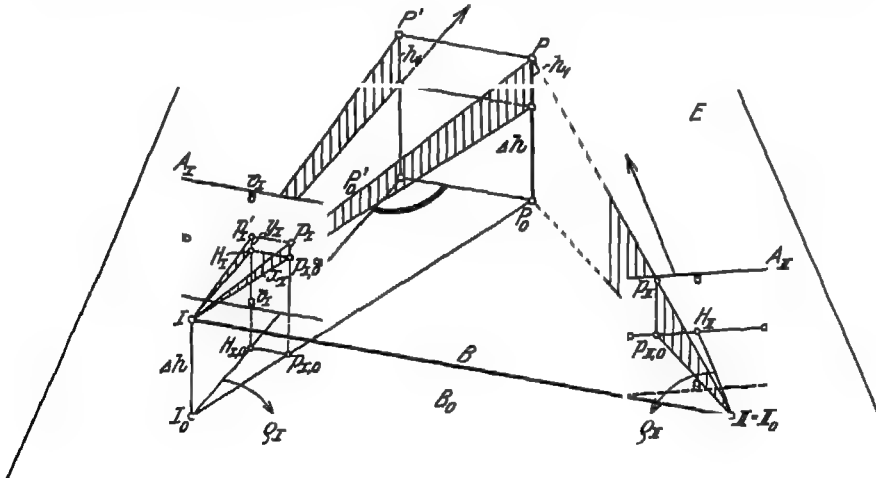


Abb 16 Schematische Darstellung des photogrammetrischen Vorwärtseinschneidens

bildern  $A_I$  und  $A_{II}$  in den Bildpunkten  $p_I$  und  $p_{II}$  abgebildet. Die entsprechenden Objektmittelpunkte, die als „Standpunkte“ gelten, sind  $I$  und  $II$ , ihre Entfernung  $B$  bestimmt die Basis der Doppelaufnahmen. Die in beliebiger Höhe anzunehmende Grundrißebene  $E$  sei durch den Standpunkt  $II$  gelegt. Die Grundrißprojektionen der Aufnahmegerichtungen, nämlich  $I_0H_{I0}$  und  $IIH_{II}$ , seien durch Messung der Winkel  $\varrho_I$  und  $\varrho_{II}$  bestimmt. Die Grundrißprojektionen der Zielstrahlen  $IP$  und  $IIP$  finden sich mit Hilfe der Projektionen der Bildpunkte bzw.  $p_{II}$  auf die Grundrißebene, wobei der Abstand der Bildpunkte  $p_0$  im Grund-

von dem Grundriß der entsprechenden Aufnahme-richtung offenbar gleich entsprechenden Bildabszisse  $x$  ist. Die Höhe  $PP_0 = h_{II}$  des Punktes  $P$  über erscheint in gleicher Größe  $P'P'_0$  in einer durch die Aufnahme-richtung  $I_0H_{I,0}$  gelegten Aufrißebene, deren Spur in der Bildebene  $A_I$  die Hauptvertikale  $v_I v_I$  ist.

Die Höhenunterschiede zwischen  $P$  bzw.  $P'$  und den Standpunkten sind proportional den entsprechenden Bildordina-

Abb 47 zeigt das

Die Grundrißpro-  
jektionen der Stand-  
punkte sind  $I_0$  und  $II_0$ ,  
mal seien durch bei-  
Aufnahme-richtungen  
 $I_I$  und  $II_I H_{II}$ , die  
ch Abtragen der ge-  
messenen Winkel  $\varphi_I$  und  
gefunden wurden,

Die Auf-  
rißebenen gelegt und in die Grundrißebene umgeklappt. Diese Auf-  
rißebenen enthalten die Hauptvertikalen  $vv$  und zeigen die Bildweite  $f$  und die  
Gungswinkel  $\nu$  der (hier nach oben gerichteten) Kammern. Aufriß und Grund-  
riß der den Punkt  $P$  bestimmenden Zielstrahlen ergeben sich mit Hilfe der Aufriß-  
rißebenen aus dem Aufriß ( $p'$ ) und dem Grundriß  $p_0$  der Bildpunkte in leicht ersicht-  
er Weise. Der Schnittpunkt  $P_0$  der Grundrißprojektionen der Strahlen ent-  
spricht der Kartenlage des Raumpunktes  $P$  in  
gewählten Maßstab, aus ihr findet man,  
der mit Hilfe der Aufrißfiguren, die Höhen  
bzw.  $h_{II}$  von  $P$  über den Bildhorizonten der  
Standpunkte. Die Differenz  $\Delta h$  dieser Höhen  
für alle Objektpunkte gleich sein, sie ent-  
spricht (Abb 45 und 46) der Höhendifferenz  
Standpunkte und liefert eine wertvolle Ar-  
beits- und Genauigkeitskontrolle (S 210). Für  
bequeme, wenn auch wenig genaue Durch-  
führung der Rekonstruktion kann man, wie Abb 47  
t, Papierabzüge der Aufnahmen so auf die  
Tafel aufheften, daß die Bildvertikala-  
ren mit der Aufnahme-richtung zusammenfallen.

Das angegebene Verfahren ist für beliebig geneigte Aufnahmen — also  
auch für Schrag- und Senkrechtaufnahmen aus Luftfahrzeugen — anwendbar,  
vereinfacht sich wesentlich, wenn genau senkrechte Aufnahmen vorliegen,  
hier der Bildhauptpunkt mit dem Bilde der Standpunktsprojektion (dem  
Nadirpunkt der Aufnahme) zusammenfällt und (Abb 48) die Verbindungslinie  
Bildhauptpunktes mit einem beliebigen Bildpunkt der Richtung der Horizontal-  
projektion des Zielstrahls nach dem betreffenden Objektpunkt unmittelbar  
spricht. Zur Rekonstruktion der Kartenlage der abgebildeten Punkte wird  
also die beiden Bilder, auf denen die gegenseitigen Nadirpunkte erkennbar  
müssen, so auf die Endpunkte der zunächst beliebig angenommenen Hori-

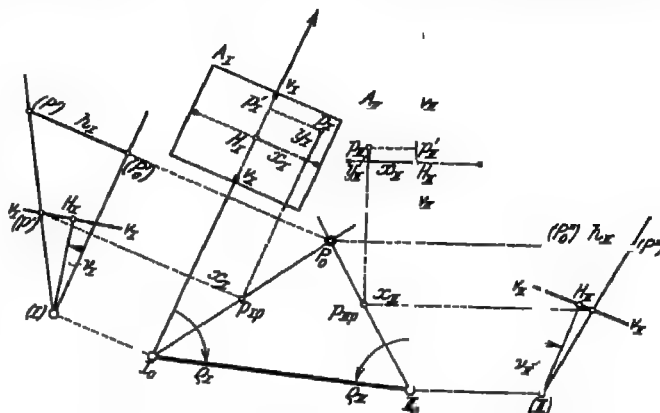


Abb 47 Graphisches Vorwärtseinschnitten aus geneigten Aufnahmen

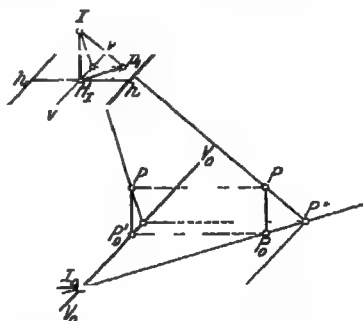


Abb 48 Senkrechtaufnahme eines Raumpunktes



zontalprojektion der Basis auflegen (Abb 49), daß sich Hauptpunkt und Sta-  
punktsprojektionen decken und das Bild des jeweils anderen Standpunkts in  
Basisprojektion fällt. Die Verbindungslinien entsprechender Bildpunkte mit  
zugehörigen Hauptpunkten ergeben dann in ihren Schnittpunkten unmittel-  
bar die Kartenpunkte  $P_0$  der betreffenden Objektpunkte  $P$ . Auch hier kann man  
Höhen  $P_0P$  der Objektpunkte über der Kartenebene mit Hilfe einer beliebig  
beispielsweise durch die  $vu$ -Linie gelegten Seitenrißebene ableiten (Abb 49).  
Die so erhaltene Rekonstruktion hat einen zunächst unbekannten Maßstab  
zur Feststellung desselben genügt, immer genau senkrechte Aufnahmen vor-  
gesetzt, die Kenntnis einer Aufnahmehöhe  $z. B. I/I_0$ , oder aber die (gegeben  
falls nachträglich bestimmte) Entfernung zweier der kartierten Punkte.  
gewöhnlich wird statt einer einfachen Doppelaufnahme eine ganze Serie  
Senkrechtaufnahmen gemacht, wobei jedes Bild das jeweils vorhergehende  
mehr als 50% überdeckt (Reihenbildaufnahme). Die Orientierung der drei-  
ten Aufnahme gegen die zweite, der vierten gegen die dritte usw. erfolgt auch  
mit Hilfe der gegenseitigen Nadirpunktbilder (Abb 49). Dabei kann aber  
der Abstand der Nadirpunkte, z. B. der zweiten und dritten Aufnahme, n-

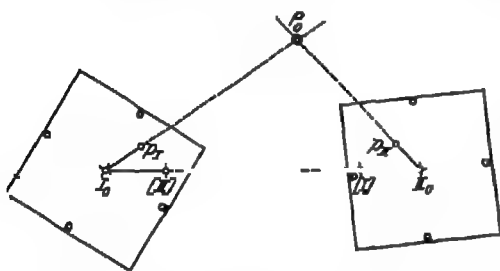


Abb 49 Ebenes Vorwärts-einschnitten mit Hilfe von Senkrechtaufnahmen

mehr beliebig angenommen werden  
er ergibt sich vielmehr zwangsläufig  
aus der Lage von (mindestens) ein-  
er Punkt, der durch das erste Bild  
paar bereits festgelegt und auf  
dritten Aufnahme abgebildet ist.  
Ausarbeitung einer solchen Bilder-  
ergibt ein ganzes Netz von Objek-  
punkten in einem einheitlichen Maß-  
stab, zu dessen Ermittlung an-  
hier eine einzige Flughöhe oder  
Entfernung zweier der kartierten  
Punkte ausreicht (Näheres S. 1)

Von diesem Verfahren — das man in Amerika „Method of Intersect“  
oder „Radial-Method“, in England „Arundel-Method“ und in Deutsch-  
land „Nadirpunkttriangulation“<sup>1</sup> nennt, wird verschiedentlich auch der  
Gebrauch gemacht, wenn die Aufnahmen nur näherungsweise<sup>2</sup> senkrecht  
die Elemente der äußeren — oft auch der inneren — Orientierung unbekannt  
waren. Die dabei unvermeidlich auftretenden Fehler<sup>3</sup> geben den unmittel-  
bar erzielten Resultaten meist nur den Wert einer Approximation. Höhenun-  
terschiede sind hier selbstverständlich nur durch nachträgliche, etwa barometrische  
Messungen im Gelände zu gewinnen. Zur (natürlich nur rohen) Zeichnung  
Formlinien des Geländes kann man sich der stereoskopischen Betrachtung  
Bildabzüge bedienen.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Das Verfahren, das immer von neuem erfunden und teilweise sogar (Amerika 1916 für BROCK & WYEMOUTH) von neuem patentiert wurde, ist lange bekannt. Vgl. vor allem TH. SCHEMPFLUGS D. R. P. Nr. 228 590.

<sup>2</sup> O. v. GRUBER, Vermessungstechn. Rundsch., 6, 1929, S. 2 ff. Die hier gemachte Angabe, daß die Grundlagen des Verfahrens von FINSTERWALDER herrühren, ist nicht zu. Die Grundlagen sind vielmehr in der zitierten Patentschrift SCHEMPFLUGS vollständig enthalten. Vgl. auch S. 197, Anm. 1 dieses Bandes.

<sup>3</sup> Vgl. z. B. P. WERKMEISTER, Bildmess. u. Luftbildwes. 2, 1927, S. 49.

<sup>4</sup> Vgl. z. B. M. HOTINE, Simple methods of Surveying from Air Photographs (London (War Office), 1927, und S. 76 dieses Bandes, O. KOERNER, ZS. f. V. 54, 1925, S. 329 ff.

Bei terrestrischen Aufnahmen zeigen die Abbildungen des Objekts besonders 1 Vordergrund oft so große Unterschiede, daß das Aufsuchen zusammengehöriger (identischer) Bildpunkte schwierig wird. Ein wertvolles Hilfsmittel zur Beseitigung dieser Schwierigkeit bietet die von G. HAUCK<sup>1</sup> vorgeschlagene Anwendung der „gegnerischen Kernpunkte“  $K_I$  und  $K_{II}$  (Abb 50), womit die gegenseitigen Abbildungen der Standpunkte bzw. die Durchstoßpunkte der Basis durch die Bildebenen bezeichnet werden. Ein beliebiger Objektpunkt  $P$  und die Basis  $I II$  bestimmen eine Ebene („Kernebene“), welche die Bildebenen in zwei Geraden  $p_I K_I$  bzw.  $p_{II} K_{II}$ , den „Kernstrahlen“, und die Schnittgerade  $SS$  der beiden Bildebenen in dem Punkt  $P$ , schneidet. Ist also die Lage der Kernpunkte bekannt, so läßt sich in dem Kernstrahl  $k_I$  durch den Bildpunkt  $p_I$  ein anderer Bildpunkt der zugehörige Kernstrahl  $k_{II}$  konstruieren, auf dem der Bildpunkt  $p_{II}$  liegen muß. Bei der hier vorausgesetzten Kenntnis der inneren und äußeren Orientierung der Aufnahmen ist die Konstruktion der Kernpunkte leicht durchzuführen. Ein Beispiel für eine solche Konstruktion — für horizontale Kammerachsen — zeigt Abb 51 im Grund- und Aufriss und in einer Ansicht der um ihre Schnittlinie  $SS$  in eine gemeinsame Ebene geklappten Bildebenen. Bei den auf ihnen dargestellten, völlig einförmig gedachten Linien-

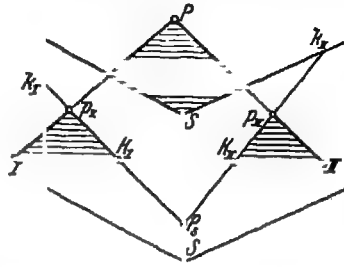


Abb 50 Kernpunkte und Kernebene

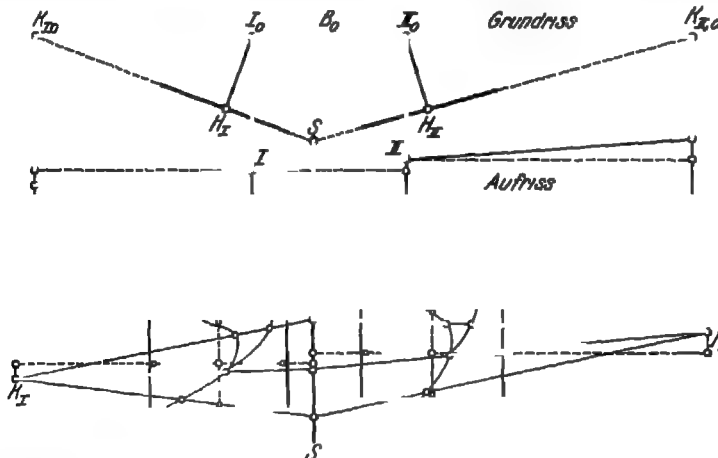


Abb 51 Konstruktion der Kernpunkte und Aufsuchen identischer Punkte mit Hilfe der Kernstrahlen

ugen (Wegen, Wiesenrandern, Gletscherspalten oder ähnlichen) wäre die unmittelbare Bezeichnung identischer Bildpunkte ohne Benutzung der Kernstrahlen unmöglich.<sup>2</sup> Es ist übrigens leicht einzusehen, daß bei achsenparallelen Aufnahmen die Kernstrahlen parallele Geraden werden, deren Neigungswinkel gegen den Bildhorizont bei Aufnahmen im „Normalfall“ (S 47) gleich dem Neigungswinkel der Basis ist. Der bereits in der Einleitung (S 3) erwähnte HAUCKSche „Triolograph“ beruht im wesentlichen auf einer mechanischen Dar-

<sup>1</sup> Journ. f. Math. 95, 1883, S 11

<sup>2</sup> A. v. HÜBL, Mitt. d. Mil. Geogr. Inst., Wien, 19, 1899, S 115

stellung der Kernstrahlen durch zwei Lineale, die sich um die festen Kernpunkte drehen und deren Endpunkte, entsprechend dem Punkt  $P_0$  (Abb. 19), durch einen gemeinsamen Führungsstift bewegt werden, der in einer der Seiten  $SS'$  entsprechenden Führungsnut gleitet.<sup>1</sup>

**9. Graphisch-optisches Vorwärtseinschneiden mit Richtungsbüscheln**  
 gemeines Von den Vereinfachungen, die sich bei der Rekonstruktion genau senkrecht nach unten aufgenommenen Luftmeßbildern ergeben, kann man vorteilhaft auch bei Aufnahmen Gebrauch machen, deren Achse bis  $45^\circ$  von der Vertikalen abweicht, wenn man diese Aufnahmen zuvor nach im Abschnitt III behandelten Entzerrungsverfahren umbildet. Man verwende dabei zweckmäßig die winkeltreue Projektion (Abb. 20), stellt also das Entzerrungsgerät so ein, daß ein für allemal der Bildabstand  $OH$  des zu entzerrten Bildes gleich der Bildweite der Aufnahmekammer ist. Eine so erhaltene Abbildung entspricht völlig einer genau senkrechten Aufnahme vom gleichen Standpunkt aus.

**Anwendung** Nachdem der Projektionsstich entsprechend der hier bekannt (vgl. S. 22) vorausgesetzten Neigung und Richtung der Aufnahme gestellt wurde, bestimmt der Fußpunkt des vom optischen Mittelpunkt Projektionsobjekts auf die Projektionsfläche gefällten Lotes den hier natürlich mit dem Bildhauptpunkt zusammenfallenden Nadirpunkt der Aufnahme. Die Länge dieses Lotes entspricht der Flughöhe über dem Kartenhorizont. Verbindungslinien des Nadirpunktes mit beliebigen Bildpunkten ergeben Büschel horizontaler Richtungen, trägt man die Richtungsbüschel, die sich aus zwei oder mehr einander überdeckender Bilder ergeben, in richtiger Orientierung auf (Abb. 49), so erhält man, wie oben gezeigt, in den Schnittpunkten zusammengehöriger Richtungen die Kartenprojektion  $P_0$  der entsprechenden Objektpunkte. Mit Hilfe von beliebigen, etwa jeweils durch  $P_0$  selbst gehenden Außenhilfsebenen (Abb. 48) finden sich auch die Höhen  $PP_0$  der Objektpunkte über dem angenommenen Horizont.

Das besonders in Frankreich angewandte, durch M. H. ROUSSILLE<sup>2</sup> gebaute Verfahren gibt gute Resultate hinsichtlich der Lage der Objektpunkte. Die Höhenbestimmung dagegen ist langwierig und wenig genau, entsprechend der Unsicherheit, mit der die (nachträgliche) Ermittlung vor allem der Neigung der einzelnen Aufnahmen behaftet ist.<sup>3</sup>

**10. Vorwärtseinschneiden mit rechnerisch bestimmten Richtungswinkeln**  
 Das photogrammetrische Vorwärtseinschneiden von Objektpunkten läßt sich ganz entsprechend dem in der Vermessungskunde gebräuchlichen Theodolitenverfahren (S. 36) durchführen, wenn die Bildstrahlen nicht durch ihre Grund- und Aufrißprojektion (Abb. 47), sondern durch ihre Horizontalwinkel<sup>4</sup>  $\alpha$  und Vertikalwinkel  $\beta$  (Abb. 44) bestimmt sind. Diese Winkel lassen sich unmittelbar aus den Bildpunktkoordinaten berechnen. Hierzu denkt man sich (Abb. 44) durch die unter dem Winkel  $\nu$  zum Horizont geneigte Kammerachse eine Vertikalschnitt gelegt, dessen Spur in der (hier positiven) Bildebene die Hauptachse ist. In ihr liegt die Aufrißprojektion  $p'$  des Bildpunktes  $p$ , dessen Grundrißprojektion  $p_0$  durch Umklappen der Grundrißebene in die Aufrißebene zu

<sup>1</sup> FR. SCHIFFNER, Die photographische Meßkunst, S. 55

<sup>2</sup> M. H. ROUSSILLE, Ann. hydrogr. 3. Ser., Bd. 1, Paris 1917, DERSELBE, Construction provisoire pour l'emploi de l'appareil de redressement, etc., Paris 1926

<sup>3</sup> Über Versuche zur kontinuierlichen Schichtenzeichnung auf Grund von transformierten Aufnahmen vgl. S. 77

<sup>4</sup> Geeignete Auftragegeräte für diese Winkel beschreibt J. M. TORROJA, Int. Arch. Photogramm. 2, 1911, S. 269

gemacht wurde. Dementsprechend ist  $O_0p_0$  die Grundrißprojektion des Strahles  $Op$  und  $\alpha$  dessen horizontaler Richtungswinkel gegen die Grundprojektion  $O_0p'_0$  der Kammerachse, d. h. gegen die Aufnahme-richtung. Da  $Hp'$  gleich der Ordinate  $y$  und  $p'_0p_0$  gleich der Abszisse  $x$  des Bildpunktes  $p$  ist, so ergeben sich leicht die folgenden, zuerst von C. KOPPE aufgestellten Beziehungen

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{w}{p'_0 O_0} = \frac{y \sin \nu + f \cos \nu}{f \sin \nu - y \cos \nu} \quad (1) \\ \operatorname{tg} \beta &= \frac{p' p''}{p_0 O_0} = \frac{y \sin \nu + f \cos \nu}{y \sin \nu - f \cos \nu} \cos \alpha \quad (2) \end{aligned}$$

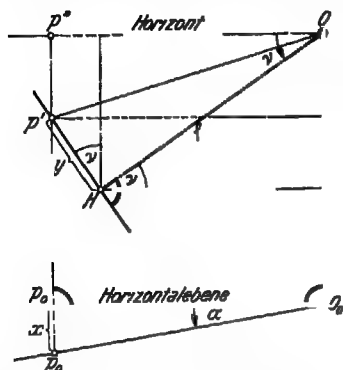


Abb 52 Ableitung der Koppeschen Formeln

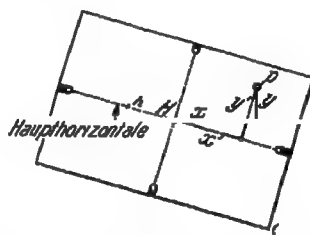


Abb 53 Transformation der Bildpunktkoordinaten bei verkanteten Aufnahmen

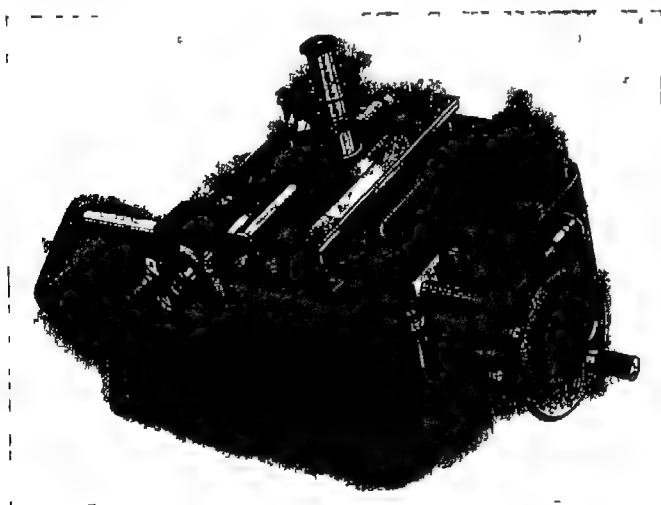


Abb 54 Nollenkomparator nach R. HUGENSTOFF

Die Formeln für den Sonderfall der genau vertikalen Bildebene ( $\nu = 0^\circ$ ) vereinfachte Gestalt annehmen

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{w}{f} \quad (1')$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{y}{f} \cos \alpha = \frac{y}{f^2 + w^2} \quad (2')$$

Die Messung der Bildpunktkoordinaten erfolgt gewöhnlich in bezug auf das durch die Bildmarkenverbindungs- und Achsenkreuz definierte Achsenkreuz, wobei vorausgesetzt wird, daß diese Verbindungslinien mit der Hauptvertikalen

bzw der Haupthorizontalen zusammenfallen. Das wird im allgemeinen nur terrestrischen Aufnahmen (S 104), nicht aber bei Luftaufnahmen der Fall. Hier werden vielmehr (Abb 53) infolge der unvermeidlichen Drehung („Kantung“) der Kammer um ihre Achse die Markenlinien mit den Hauptl. einen Winkel  $\kappa$  bilden. Demzufolge sind die in die Gleichungen (1) und (2) zusetzenden, auf die Hauptl. bezogenen Bildpunktkoordinaten  $x$  zu zuvor aus den Bildpunktkoordinaten  $x'$  und  $y'$  im System der Markenl. berechnen nach den an Abb 53 leicht abzuleitenden Beziehungen

$$\left. \begin{aligned} x &= x' \cos \kappa + y' \sin \kappa \\ y &= y' \cos \kappa - x' \sin \kappa \end{aligned} \right\}$$



Abb 55 Mikroskop-Komparator nach R. HUGENSHOFF

Die umständliche Berechnung der Richtungswinkel nach den Formeln (1) und (2) bzw (3) kommt praktisch selbstverständlich nur dann in Frage, wenn für sie eine besondere Genauigkeit verlangt wird. In diesem Falle sind die Bildpunktkoordinaten nicht den Bildabzügen, sondern unmittelbar den Originalaufnahmen mit Hilfe eines besonderen Instrumentes, eines Komparators, zu entnehmen. Ein solcher Komparator besteht im wesentlichen aus einem Plattenhalter und einem Einstellmikroskop, das parallel zur Plattenebene nach verschiedenen winkelseitigen Richtungen verschoben werden kann, wobei die Verschiebungen an zwei Millimeterteilungen (Abszissen- und Ordinatenenteil) abzulesen sind. Abb 54 zeigt einen für Platten im Format  $9 \times 12$  cm bestimmten Komparator mit Nomenablesung der Skalen, in den die auszumessende Platte so eingelegt wird, daß die durch die Bildmarken festgelegte  $h$ -Linie parallel zu einer der Teilungen (Abszissenteilung) liegt. Abb 55 stellt einen Komparator

das Bildformat  $13 \times 18$  cm mit Mikroskopablesung der Teilungen dar, die schmessende Platte kann hier um den oben erwähnten Verkantungswinkel  $\kappa$  gedreht werden, so daß die Haupthorizontale parallel zur Abszissentheilung wird und die Ablesungen der Skalen somit unmittelbar die Bildpunktkoordinaten

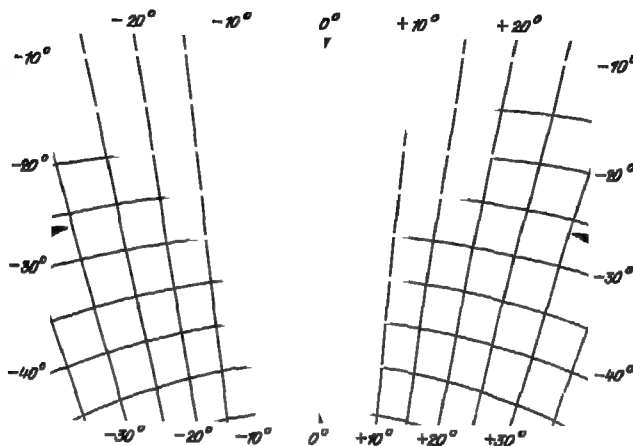


Abb 56 Winkelgitter für geneigte Aufnahmen

System der Hauptlinien ergeben.<sup>1</sup> Beide Instrumente werden nach Angaben von HUGERSHOFF von G. HEYDE-ANEROTOPOGRAPH G m b H in Dresden gebaut.

11. Vorwärtseinschneiden mit graphisch-mechanisch bestimmten Richtungswinkeln. Die graphische Darstellung der oben angeführten Gleichung (1) er-

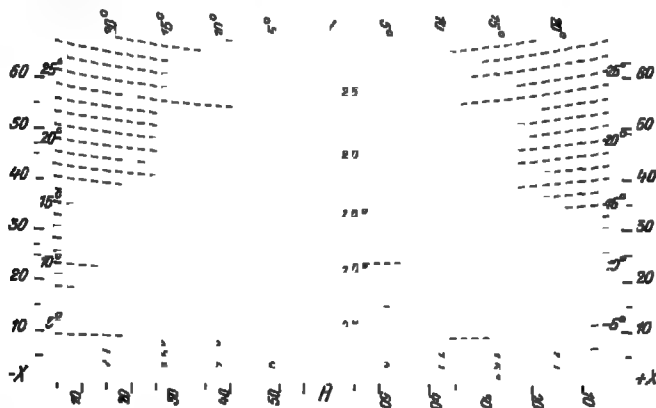


Abb 57 Winkelgitter für wagrechte Aufnahmen

st für ein bestimmtes  $f$  und  $v$  eine Schar von im allgemeinen konvergenten Geraden, während die Gleichung (2) durch eine Schar von Hyperbeln wiedergegeben wird. Konstruiert man diese Kurven unter Verwendung der für die nutzte Aufnahmekammer gültigen Bildwerte  $f$  und der bei der Aufnahme erhaltenen Kammerneigung auf durchsichtigem Stoff und legt dieses transparente

<sup>1</sup> R. HUGERSHOFF und H. CRANZ, Grundlagen der Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen, Stuttgart 1919 — Über ähnliche Instrumente vgl. TH. DOKULIL, Int. Arch. f. Photogramm. 2, 1911, S. 169, und E. DOLEŽAL, ebenda 6, 1919/23, S. 279.

Diagramm in richtiger Orientierung gegen die Hauptlinien auf das Bild, so kann man an jedem Bildpunkt den diesem zukommenden Horizontal- und Vertikalwinkel unmittelbar ablesen. Für dieses von R. HUGERSHOFF<sup>1</sup> eingeführte Hilfsmittel zur Winkelmessung hat A. HÄRPFER-Prag die Bezeichnung „Winkelgitter“ geprägt. Abb. 56 zeigt in verkleinerter Darstellung ein solches Winkelgitter, das für eine Bildweite von 165 mm und eine Kammerneigung von  $\gamma = 120^\circ$  entworfen wurde, Abb. 57 wurde für  $f = 120$  mm und den Sonderfall der geraden vertikalen Bildebene (terrestrische Aufnahmen,  $\gamma = 0^\circ$ ) entsprechend (Formeln (1') und (2')) gezeichnet. Einzelheiten über die Berechnung solcher Gitter haben A. HÄRPFER<sup>2</sup> und E. HAMMER<sup>3</sup> veröffentlicht.

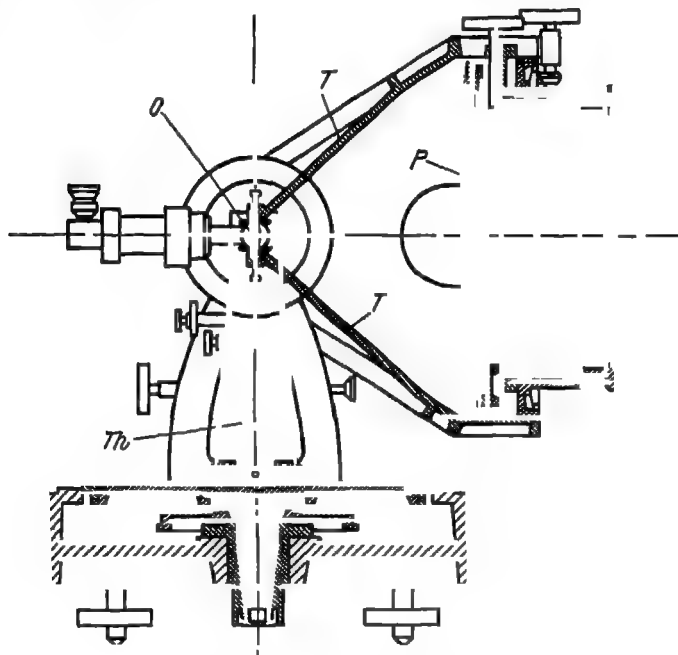


Abb. 58 Vertikalschnitt durch den Bildmeßtheodolit (vgl. Abb. 59)

**12. Vorwärtseinschneiden mit optisch-mechanisch bestimmten Richtungswinkeln.** Die oben geschilderte unmittelbare Entnahme der für das Vorwärtseinschneiden der Objektpunkte erforderlichen Horizontal- und Vertikalwinkel aus den Meßbildern ist zwar wesentlich bequemer als die Berechnung dieser Winkel, hat aber den Nachteil geringer Genauigkeit. Zu einer exakten Methode, den Meßbildern die erforderlichen Winkel unmittelbar zu entnehmen, führt der bereits auf S. 3 erwähnte PORRO-KOPFERSche Vorschlag. Den man sich nämlich das Meßbild nach der Entwicklung und Fixierung wieder in die Kammer eingelegt und entsprechend beleuchtet, so wird ein von einem beliebigen Bildpunkt ausgehender Lichtstrahl das Objektiv unter der gleichen Richtung gegen die Kammerachse verlassen, unter der er eintrat. Hat hier die Kammer die gleiche Neigung bzw. Verkantung zum Horizont wie bei d

<sup>1</sup> R. HUGERSHOFF, Einführung in die Photogrammetrie, Stuttgart 1912

<sup>2</sup> A. HÄRPFER, ZS f. Verm. 52, 1923, S. 1

<sup>3</sup> E. HAMMER, ZS f. Verm. 52, 1923, S. 361

nahme, so werden die austretenden Strahlen auch die gleichen horizontalen Richtungsdifferenzen und Neigungswinkel haben wie die bilderzeugenden Strahlen. Diese Winkel lassen sich unmittelbar mit einem vor der Kammer

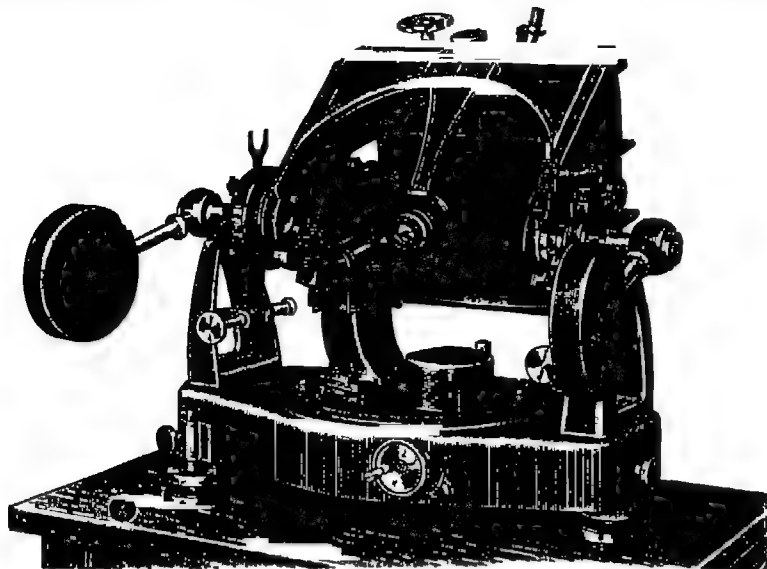


Abb 59 Bildmeßtheodolit nach R. HUGERSHOFF

zustellenden Theodolit messen, mit dessen Fernrohr man durch das Objektiv

Kammer hindurch auf die Bildpunkte einstellt. Dieses Verfahren ist allen anderen Methoden der Richtungsbestimmung aus Photogrammen weit überlegen, weil es für beliebig im Raum getriggerte Aufnahmen ebenso leicht anwendbar ist wie für solche mit variabler Bildebene und unverkanteter Kammer und weil es von den Verzeichnungseffekten des Kammerobjektivs unabhängig ist.

In der Praxis verwendet man

Bildausmessung an Stelle der optischen Meßkammer, wie es auch C. KOPPE tat, zweckmäßig an besonderen Bildträger  $T$  (Abb. 59).

Dieser besteht im wesentlichen aus einem Objektiv  $O$  vom Typus

Aufnahmeobjektivs und einem kantbaren Plattenhalter  $P$ , dessen Stand vom hinteren Hauptpunkt

Objektivs gleich der Bildweite der Aufnahmekammer ist. Vor dem Objektiv des beliebig neigbaren Bildträgers ist ein Theodolit  $Th$  so angeordnet, daß sich seine drei Achsen nahezu im vorderen Hauptpunkt des Bildträgerobjektivs schneiden. Eines dieser als „Bildmeßtheodolite“ bezeichneten Geräte (nach R. HUGERSHOFF, Ausführung G. HEYDEM — ANEROTOGRAPH G. b. H., Dresden) ist in Abb. 59 dargestellt. Seine Kreise gestatten die

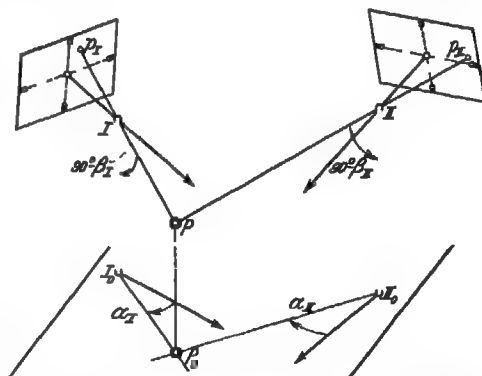


Abb 60 Schematische Darstellung der Rekonstruktion eines Punktes nach Richtungen



Richtungsablesung auf 6". Er besitzt eine Sondereinrichtung<sup>1</sup> zur Anpassung besondere der Bildträgerbildwerte an die Bildweite der Aufnahmekammer, unter thermischen und mechanischen Einflüssen nicht immer konstant ist (S 159 ff) Bildmeßtheodolite ohne diese Einrichtung baut die Firma CARL ZEISS

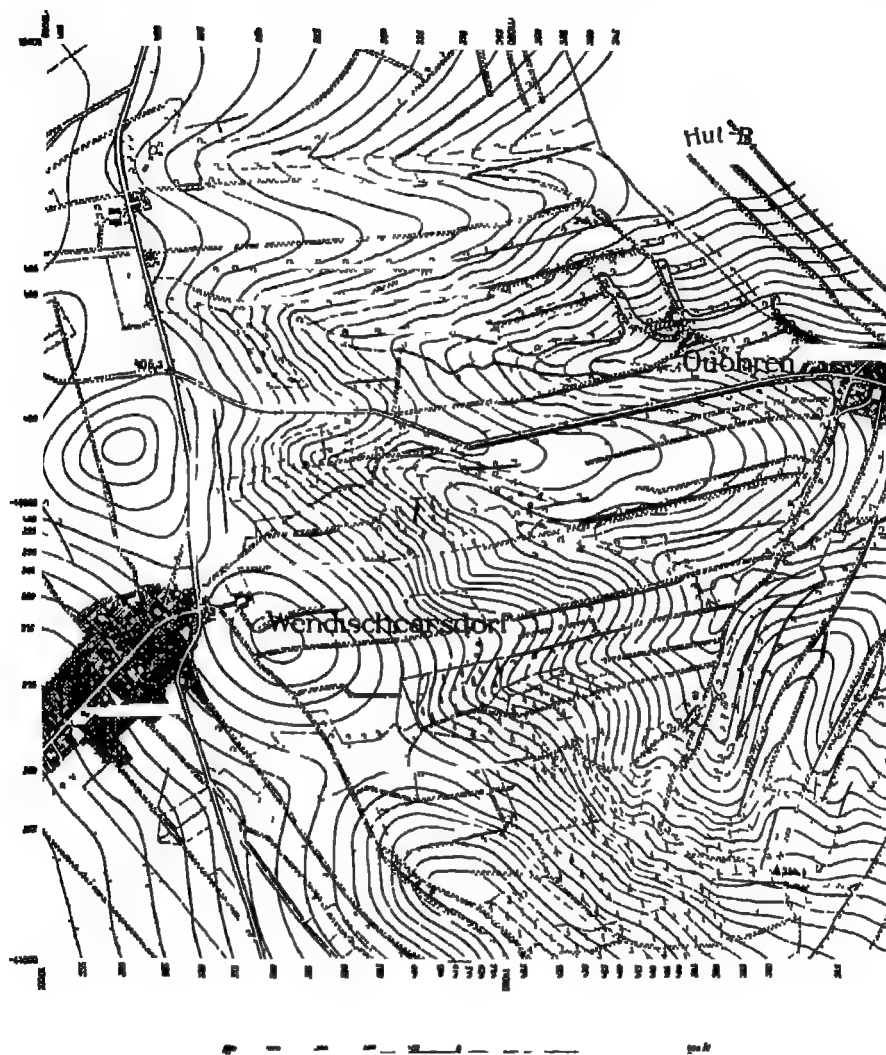


Abb 01 Erste mit Benutzung des Bildmeßtheodolits aus Luftmeßbildern konstruierte Karte

Jena Abb 60 zeigt schematisch die Rekonstruktion eines Punktes aus Luftbildern nach Richtungen, die im Bildmeßtheodolit bestimmt wurden. In Abb 1 ist die erste nach diesem Verfahren hergestellte Karte<sup>2</sup> wiedergegeben

<sup>1</sup> R. HUGERSHOFF, ZS f. Feinmech 28, 1920, S 55, P. SAMEL, Bildmeßtheodolit, Luftbildwesen 4, 1929, S 74

<sup>2</sup> R. HUGERSHOFF und H. CRANZ, a. a. O.

**13 Berechnung der Objektpunktkoordinaten unmittelbar aus den Bildpunktkoordinaten.** Bei den bisher beschriebenen Methoden des photogrammetrischen Vorwärtseinschneidens wurde — ganz wie bei dem in der praktischen odäse gebräuchlichen Verfahren — der einzelne Raumpunkt durch Rekonstruktion des Schnittpunktes der bestimmenden Zielstrahlen ermittelt. Soweit diese Zielstrahlen, sei es graphisch oder rechnerisch (durch Vermittlung der Bildpunktkoordinaten), gefunden werden, bedeutet dieses Verfahren einen Ausweg. Es läßt sich nämlich die räumliche Lage eines Objektpunktes in bezug auf die Grundlinie der Doppelaufnahme auch unmittelbar aus seinen Bildpunktkoordinaten herleiten.

Das Verfahren, auf das C. KOPPE<sup>1</sup> zuerst hinwies, ist allerdings praktisch bei Doppelaufnahmen verwendbar, bei denen die Kammerachsen parallel gestellt waren. Besondere Vorteile bietet es dabei, wenn die Kammerachsen mal zur Grundlinie und die Bildebenen genau vertikal (oder auch horizontal, bei Wolkenaufnahmen) waren. Diesen „Normalfall“ — mit gleicher Höhe der Aufnahmestandpunkte — stellt Abb. 62 im Grund- und Seitenriß dar. In Abb. 62 sind die Raumkoordinaten  $X_1$ ,  $E_1$  und  $Y_1$  des Punktes  $Q$  bezogen auf ein rechtwinkliges Koordinatensystem, dessen Ursprung im (linken) Aufnahmestandpunkt  $O_1$ , dessen  $X$ -Achse mit der Grundlinie, dessen  $E$ -Achse mit der waaghten Normalen zur Grundlinie und dessen  $Y$ -Achse mit der Lotlinie durch den Aufnahmestandpunkt zusammenfällt. Anhand der Abb. 62 erkennt man leicht,

$$\frac{X_1}{x_1} = \frac{E_1}{f} \quad (1)$$

Zieht man durch  $O_1$  eine Parallele zum Bestimmungsstrahl  $O_2Q_0$ , so schneidet diese mit dem Bildstrahl  $O_1Q_0$  die Bildspur der linken Aufnahme.

Strecke  $x_2 - x_1$  und aus der Objektpunktabzisse  $X_1$  die Strecke  $B$  ausgedrückt gilt

$$\frac{B}{x_2 - x_1} = \frac{E_1}{f} \quad (2)$$

! (1) und (2) folgt

$$X_1 = \frac{B}{x_2 - x_1} x_1$$

! r

$$X_1 = \frac{B}{p_1} x_1 \quad (3)$$

! n mit  $p_1$  die Differenz der beiden Bildpunktabzissen (entsprechend dem Abstand der Basis, vgl. S. 31) bezeichnet ist. Aus (3) folgt in Verbindung mit (1)

$$E_1 = \frac{B}{p_1} f \quad (4)$$

! dem Seitenriß in Abb. 62 ist unmittelbar abzulesen

$$Y_1 = \frac{E_1}{f} y_1 \quad (5)$$

aus wegen (4) folgt

$$Y_1 = \frac{B}{p_1} y_1 \quad (5^*)$$

<sup>1</sup> C. KOPPE, Photogrammetrie und internationale Wolkenmessung, Braunschweig 1896

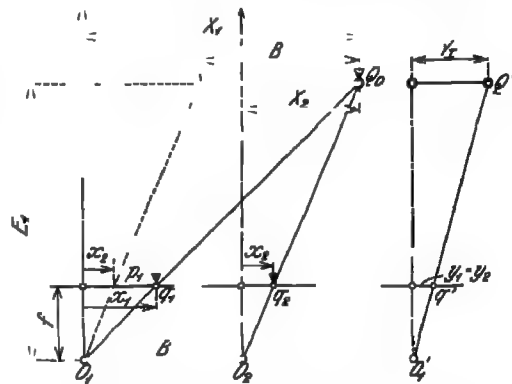


Abb. 62 Ableitung der Koppeschen Formeln für normale Aufnahmen

Die Beziehung (3) läßt sich mit Rücksicht auf (4) in folgender Form schreiben

$$X_1 = \frac{E_1}{f} x_1 \quad (3)$$

Bei einem Höhenunterschied der Standpunkte ist selbstverständlich in (3) die Gleichungen (3), (4) und (5) die Horizontalprojektion  $B_0$  der geneigten Basis einzuführen, in diesem Falle ergeben sich verschiedene Objektpunkthöhen in bezug auf die beiden Standpunkte. Für die Differenz dieser Höhe gilt

$$Y_1 - Y_2 = B_y,$$

worm  $B_y$  die Projektion der Basis auf die  $Y$ -Achse, d. h. der Höhenunterschied der Standpunkte, ist. Die Differenz  $Y_1 - Y_2$  ist also konstant für alle Objektpunkte (Arbeits- bzw. Genauigkeitskontrolle vgl. S. 210).

Ein allgemeinerer Fall, der „Verschwenkungsfall“ mit horizontalen Achsen, ist in Abb. 63 im Grundriß dargestellt. Hier sind die Richtungen der Aufnahmen in I und II zwar parallel, aber gegen die Normale zur Basis um den Winkel  $\varphi$  verschwenkt. Zur Ableitung der entsprechenden Berechnungsformeln denkt man sich die Aufnahme I durch eine solche in einem Punkt (I) ersetzt, wobei diese Ersatzaufnahme gemeinsam mit der Aufnahme II zu der parallel zur  $X$ -Achse liegenden Basiskomponente  $B_x = B_0 \cos \varphi$  normal steht. B bezeichnet man in dieser Ersatzaufnahme die Bildpunktkoordinaten des Raumpunktes  $P$  mit  $x_{(I)}$  bzw.  $y_{(I)}$ , so gilt entsprechend den Gleichungen (3), (4) und (5)

$$X_I = \frac{B_x}{(p)} x_{(I)} \quad (7)$$

$$E = \frac{B_y}{(p)} f \quad (4)$$

$$Y_I = \frac{B_y}{(p)} y_{(I)} \quad (8)$$

worm

$$(p) = x_{(I)} - x_{II} \quad (9)$$

Für die Ersatzabszisse  $x_{(I)}$  gilt folgende Proportion

$$\frac{x_{(I)}}{f} = \frac{X_I}{E} \quad (10)$$

Da nun

$$x_I = \frac{X_I}{E + B_E} \quad (11)$$

worm

$$B_E = I(I) = B \sin \varphi,$$

so folgt aus (7) und (8)

$$x_{(I)} = x_I + x_I \frac{B_E}{E} \quad (12)$$

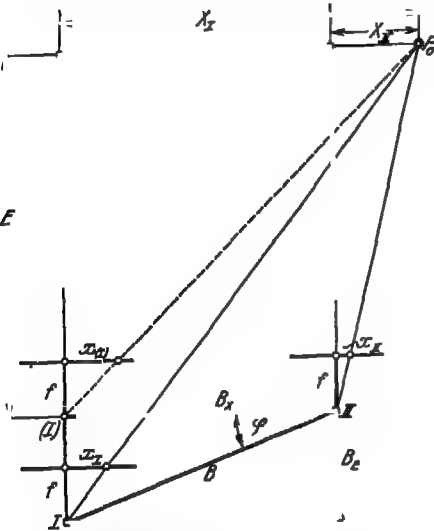


Abb. 63 Ableitung der Koppeschen Formeln für verschwenkte Aufnahmen

z entsprechend gilt

$$y(x) = y_I + y_{II} \frac{B_E}{B} \quad (10)$$

Hilfe der Beziehungen (6) und (9) bzw (10) lassen sich also aus den chungen (3'), (4') und (5') die Raumkoordinaten des Objektpunktes auch bei chwenkten Aufnahmen berechnen

Mit Rücksicht auf die weiter unten zu besprechende direkte Bestimmung „Parallaxe“  $p$  aus den Originalaufnahmen empfiehlt es sich, die zur Reduktion Verschwenkungsfalles auf den Normalfall nötige Korrektur nicht an den punktkoordinaten, sondern an dem mit dem unkorrigierten Wert von  $x_I$  ohneten Wert von  $B$  anzubringen Aus (4'), (6) und (9) folgt namlich

$$B = \frac{B_{II}}{x_I + x_{II} \frac{B_E}{B} - x_{II}} f,$$

aus durch eine leichte Umformung gefunden wird

$$B = \frac{B_{II}}{p} f - \frac{x_{II}}{p} B_E \quad (4'')$$

diesem Wert ergeben sich dann an Hand der Abb 63 die Gleichungen

$$X_{II} = \frac{B}{f} x_{II} \quad (3'')$$

$$Y_{II} = \frac{B}{f} y_{II} \quad (5'')$$

unmittelbare Berechnung der Objektpunktlage aus den Bildkoordinaten bei beliebig im Raum orientierten Aufnahmen ist zwar theoretisch möglich das Verfahren ist aber wegen der Kompliziertheit auftretenden Formeln ohne praktische Bedeutung

## B. Stereophotogrammetrie:

### Gemeinsame Bearbeitung der Bildpaare

14. Das Wesen des Verfahrens. Genauigkeit<sup>1</sup> des wärtseinschneidens und seine Abhängigkeit der Identifizierung der Bildpunkte Die Genauigkeit einer Lagebestimmung durch Vorwärtseinschneiden hängt wesentlich ab von der Unsicherheit  $\delta$  der bemenden Richtungen  $r_1$  und  $r_2$  und der Größe des Winkels  $\gamma$  an der Spitze  $P$  des Bestimmungsdreiecks (64) Da sich dieser Winkel aus der Differenz der tungen  $r$  ergibt, so ist nach dem Fehlerfortpflanzungs-<sup>2</sup> die dem Winkel an der Spitze des Bestimmung- ocks anhaftende Unsicherheit

$$\Delta = \delta \sqrt{2}$$

Aus ihr ergibt sich eine Querverschiebung  $v$  des Punktes  $P$

$$v = E \frac{\Delta''}{\varrho''} \quad (1)$$

<sup>1</sup> K HEUN, ZS f Math u Phys, 44, 1899, S 18, A W SPRUNG, Meteorolog ZS, 903, S 414

<sup>2</sup> Weiteres hierzu s S 202 ff

<sup>3</sup> Vgl z B P WERKMEISTER, Einführung i d Ausgleichsrechnung, Stuttgart

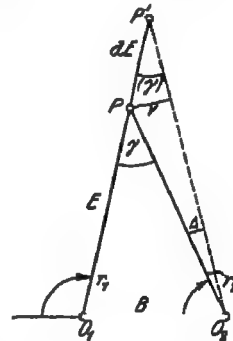


Abb 64 Ableitung des Entfernungsfehlers beim Vorwärtseinschneiden

und damit näherungsweise der Lagefehler  $dE$  des Punktes  $P$

$$dE = \frac{v}{\sin \gamma} = \frac{E}{\sin \gamma} \frac{\Delta''}{e''}$$

oder, da  $E \sin \gamma = B$  ist,

$$dE = \frac{E^2}{B} \frac{\Delta''}{e''}$$

Der Entfernungsfehler  $dE$  nimmt also ab mit wachsender Basis, für welche (3) folgt

$$B = \frac{E}{\frac{dE}{E}} \frac{\Delta''}{e''}$$

Diese Beziehung zeigt die Abhängigkeit der Basisgröße vom relativen Entfernungsfehler  $\frac{dE}{E}$

Aus der wiederholten Bestimmung der Richtung nach einem und demselben Bildpunkt fanden sich<sup>1</sup> sowohl bei Benutzung des Komparators als auch Bildmeßtheodolits für  $\delta$  etwa  $25''$ , so daß hiernach die mittlere Unsicherheit des Winkels  $\gamma$  theoretisch rund  $35''$  beträgt. Bei einer vorgeschriebenen relativen Genauigkeit  $\frac{dE}{E}$  der Entfernung von beispielsweise  $\frac{1}{1000}$  ergibt sich also aus (4) als kleinste zulässige Basis

$$B_{\min} = \frac{E}{6}$$

Der angegebene Wert von  $\Delta$  gilt allerdings nur, wenn die auf den Einzelbildern angezielten beiden Punkte identisch sind, d. h. genau dem gleichen Objektpunkt entsprechen. Mit Rücksicht auf die unvermeidlichen Identifizierungsfehler wird man also stets mit einem wesentlich größeren (im allgemeinen etwa dem dreifachen) Fehler des Winkels an der Spitze des Bestimmungsdreiecks rechnen müssen, als er oben angegeben wurde. Eine Kompensierung dieses Fehlers durch Vergrößerung des Winkels an der Spitze des Bestimmungsdreiecks bzw. durch Vergrößerung der Basis entsprechend der Beziehung (2) bzw. (3) ist nicht möglich, da die Schwierigkeiten der Identifizierung der Bildpunkte mit dem Größerwerden der Basis wegen der hierbei zunehmenden Verschleiertheit im Aussehen und in der Beleuchtung der Objektpunkte wachsen. Daß hier die Genauigkeit der Identifizierung außerdem noch von der Beschaffenheit der Objektpunkte ab, in einfürmigem Gelände, wie etwa einem Wiesengelände, hängt, ist die Möglichkeit der Identifizierung und damit einer Rekonstruktion sogar ganz auf.

**Stereoskopisches Vorwärtseinschneiden und seine Genauigkeit.** Zur Ausschaltung der Identifizierungsfehler gibt es nun offenbar zwei Möglichkeiten: erstens die Verkleinerung des Spitzenwinkels  $\gamma$  durch Wahl eines kleineren „Basisverhältnisses“  $\frac{B}{E}$  und zweitens die unmittelbare Vergleichung zusammengehöriger Bildpunkte. Hinsichtlich der ersteren Möglichkeit wird man das aus (5) unter Annahme fehlerfreier Identifizierung gefundene Verhältnis  $\frac{B}{E} = \frac{1}{6}$  bei der vorgeschriebenen Streckengenauigkeit  $1/1000$  freilich nur dann verringern dürfen, wenn sich Mittel angeben lassen, den Spitzenwinkel

<sup>1</sup> R. HUGERSHOFF und H. CRANZ, a. a. O. Der oben angegebene Wert von  $\delta$  entspricht einem linearen Einstellfehler von 0,022 mm bei einer Bildweite von 180 mm.

lauer als auf 35'' zu bestimmen. Dagegen ist eine unmittelbare Bildver-  
 einigung ohne weiteres durch binokulare Betrachtung der Bilder möglich,  
 bei dieser zu einem „Raummodell“ verschmelzen<sup>1</sup>.  
 , dieser „stereoskopischen“ Betrachtung der Bilder  
 t sich nun ihre Ausmessung verbinden nach einem  
 1 Stolz<sup>2</sup> angegebenen grundlegenden Verfahren  
 n denkt sich hierzu ein Aufnahmepaar mit zunächst  
 zontalen und winkelrecht zur ebenfalls horizontalen  
 us liegenden Achsen (Normalstereogramm) so in ein  
 reoskop eingelegt, daß der Abstand der Hauptvertika-  
 gleich dem Abstand  $B$  der optischen Achsen der Be-  
 achtungslinsen  $O_1$  und  $O_2$  wird (Abb 65). Dabei wer-  
 z  $B$  die beiden, bei der Betrachtung zu einem  
 akt verschmelzenden Hauptpunkte  $H_1$  und  $H_2$ , die  
 lbilder des unendlich fernen Punktes in der Auf-  
 merichtung, dem Beobachter als unendlich ferner  
 akt erscheinen, da er die Teilbilder mit parallelen  
 achsen sieht. Bringt man zwei Zielmarken  $m_1$  und  
 von genau gleicher Gestalt auf die Hauptpunkte  $H_1$   
 l  $H_2$ , so werden auch diese Marken als eine im Fern-  
 icht liegende körperliche Marke  $M$  erscheinen. Eine  
 schiebung  $v$  beispielsweise der rechten Marke  $m_2$  längs der Haupt-  
 zontalen in Richtung auf die Marke  $m_1$  in die Stellungen  $m_2'$ ,  $m_2''$  oder  $m_2'''$   
 ngt die Achse des rechten Auges zu einer entsprechenden immer größer  
 enden Konvergenz gegen die Achse des  
 en Auges, so daß der scheinbare Abstand  
 $b_1 = e$  der entsprechenden Verschmelzungs-  
 ler („Raummarken“)  $M'$ ,  $M''$  und  $M'''$  vom  
 bachter immer kleiner wird. Dabei wird  
 der Abstand  $e$  genau dem scheinbaren Ab-  
 and desjenigen Punktes des Raummodells<sup>3</sup>

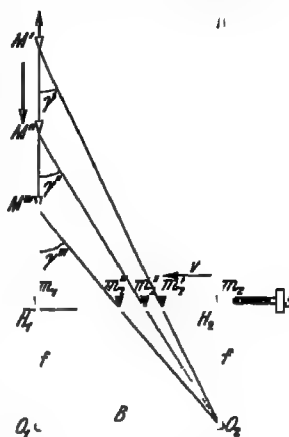


Abb 65 Stereoskopisches Vorwärtseinschneiden

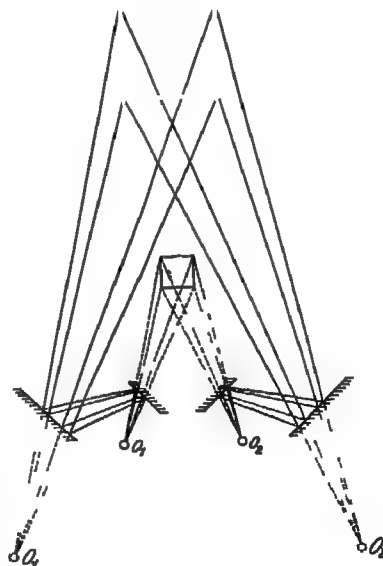


Abb 65\* Objekt und Modell

<sup>1</sup> W. SCHEFFER, Anleitung zur Stereoskopie, im 1914, R. DITTLER, Stereosk. Sehen und Messen, Leipzig 1919, A. HAY, Sehen und Messen, 1918 und 19, Leipzig und Wien 1921

<sup>2</sup> Vgl. S. 4

<sup>3</sup> Über den Charakter dieses optischen Modells. Abb. 65\* nähere Aufklärung. Die in dem großen Abstand  $O_1O_2 = B$  aufgenommenen Teilbilder werden den beiden Augen  $o_1$  und  $o_2$  mit einem kleineren Abstand  $b$  unmittelbar oder durch Verlegung optischer Hilfsmittel (in der Abb. 65\* durch eine HERMOLTZsche Spiegelanordnung) dargeboten. Die dadurch parallel zusammengeschobenen Zielstrahlenbüschel liefern ein nähergerückt und in allen seinen Dimensionen gleichmäßig verkleinertes räumliches Abbild des aufgenommenen Objekts. Die Annäherung (und damit auch die

seiner Verkleinerung) entspricht dem Verhältnis  $\frac{B}{b}$ , das man die „spezifische Verkleinerung“ nennt. Erfolgt jetzt die Betrachtung des Bildpaares durch ein Linsensystem, so kommt, wie z. B. am Stereoskoparator (s. u.) eine Vergrößerung  $v$  zustande, so erscheint es das Modell wiederum, und zwar  $v$ -mal, nähergerückt. Das Maß der totalen

entsprechen, auf dessen beiden Teilbildern die beiden Einstellmarken stehen, und der Beobachter hat den Eindruck, als ob die „Raummarke“ berührt

Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke  $M'O_1O_2$  und  $O_2H_2m_2'$  folgt

$$M'O_1 = e = \frac{B}{\operatorname{tg} \gamma'} = \frac{B f}{H_2 m_2'} = \frac{B f}{v},$$

worin  $f$  die Brennweite der Betrachtungslinsen ist. Ist diese Brennweite der Bildweite der Aufnahmekammer, so stellt  $e$  den tatsächlichen Abstand des eingestellten Raumpunktes von der Aufnahmebasis  $B'$  im Maßstab. Der Abstand  $E$  und die Richtung  $O_1m_1$  bestimmen nun eindeutig die Lage des Objektpunktes  $M$  in bezug auf die Basis  $B'$ , das Verfahren der „Raummessung“ ist also eine besondere Art des Vorwärtseinschneidens, bei dem der Spitzenwinkel  $\gamma$  nicht durch getrennte, nacheinander vorgenommene Raummessungen, sondern unmittelbar aus einer einzigen Messung, nämlich Verschiebung  $v$ , gefunden wird.

Dabei ist — wie Gleichung (6) zeigt — diese Abstandsbestimmung abhängig von einem etwaigen Fehler in der Richtung  $Om_1$ . Ein solcher würde die Raummarke nur seitlich neben dem Raumpunkt, aber in „Tiefe“ mit diesem zeigen.

Für die Wahrnehmung von Unterschieden in der Tiefe der Raummarke und eines benachbarten Objektpunktes besitzt das Augenpaar im allgemeinen eine beträchtliche Empfindlichkeit. Eingehende, durch die Praxis bei Versuchen<sup>1</sup> haben ergeben, daß ein normalsichtiger Beobachter unter günstigen Umständen noch Abstandsdifferenzen  $\delta E$  (vgl. Formel (3) S. 50), wahrzunehmen vermag, denen ein Fehler  $\Delta$  des Spitzenwinkels  $\gamma$  von etwa  $10''$  entspricht. Hienach das stereoskopische Meßverfahren — entsprechend der Beziehung — gegenüber dem geodatischen Vorwärtseinschneiden die Möglichkeit gleichem Basisverhältnis  $\frac{B}{E}$  etwa die vierfache Genauigkeit  $\frac{\delta E}{E}$  zu erreichen oder bei gleicher Genauigkeit mit dem vierten Teil des Basisverhältnisses zuzukommen.<sup>2</sup> Dabei sind diese überragenden Vorteile des stereoskopischen Vorwärtseinschneidens nicht wie beim geodatischen Vorwärtseinschneiden Voraussetzung einer vorhergehenden genauen Punktidentifizierung. Gelingt mit der Verschmelzung zweier Teilbildpunkte zu einem Raumpunkt die Identität gleichsam automatisch festgestellt. Infolgedessen sind bei Anwendung des stereoskopischen Verfahrens auch völlig einformige Oberflächenformen

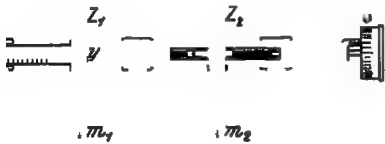
Annäherung entspricht jetzt dem Verhältnis  $\frac{B}{b} v$ , das man (nach S. CZAP) „totale Plastik“ bezeichnet. Mit dieser weiteren Annäherung des Objekts keine weitere Verkleinerung seines Modells verbunden. Die Vergrößerungstrachtungssysteme bewirkt somit eine Deformation des Modells (Kulissenverfahren), die aber, da ja der Richtung nach der Zielmarke und nach dem eingestellten Punkt die gleiche Deformation zukommt, ohne Einfluß auf das Messungsergebnis hat. Vgl. M. v. ROHR, Die opt. Instrumente, Samml. Aus Natur u. Geisteswelt, Leipzig und Berlin 1911, und A. HAY, Sehen und Messen, Leipzig und Wien 1901, S. 249.

<sup>2</sup> Eine Rechen tafel, die bei gegebenem maximalen Punktabstand  $E$  und hierfür zulässigen maximalen Fehler  $\delta E$  die erforderliche Basislänge zu entwerfen gestattet, veröffentlichte z. B. H. LÜSCHER (Photogrammetrie, Samml. Aus Natur u. Geisteswelt Nr. 612, Leipzig und Berlin 1920).

hänge, Schneehalden, ja sogar Wolken und Wellen der Ausmessung gleich

onstruktionsgrundlagen und Gebrauch eines stereoskopischen

Meßgerätes Zur Demonstration des Stolzeschen Verfahrens ist von uns in Jena ein „Stereomikrometer“ (Abb 66) gebaut worden,<sup>1</sup> das in Verbindung mit einem gewöhnlichen Linsenstereoskop zu verwenden ist. Das Instrument besteht aus einem Rahmen  $R$ , der so über ein im Stereoskop befindliches Bildpaar zu legen ist, daß die beiden Teilbilder in den Ausschnitten hindurch erscheinen. In diese Ausschnitte ragen die Zeiger  $Z_1$  und  $Z_2$ , deren Spitzen  $m_1$  und  $m_2$  auf beliebige zusammengehörige Bildpunkte eingestellt werden können, und zwar durch gemeinsame Verschiebung des Zeigerträgers  $T$  (Längsverschiebung an der  $x$ -Skala), durch (getrennte) Verschiebung der Zeiger  $Z_1$  und  $Z_2$  (Winkelverschiebung an der  $y$ -Skala) und endlich durch Verschiebung des Zeigers  $Z_2$  gegen  $Z_1$  mittels der Schraube  $s$  (Ablesung an der besonderen Teilung und an der Schraubentrommel). Da mit Hilfe dieser Vorrichtung die Abstände der Bildpunkte sowohl von der Hauptvertikalen (die die  $z$ -Achse darstellt) als auch von der Haupthorizontalen (die die  $x$ -Achse darstellt) gemessen werden



66 Stereomikrometer von C. ZEISS

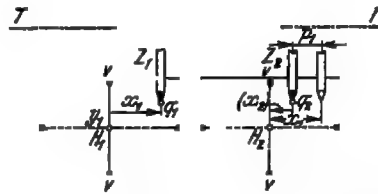


Abb 67 Anwendung des Stereomikrometers

können, so ist das Stereomikrometer im Prinzip eine Vereinigung zweier Komponenten (s. S. 41) zur gleichzeitigen Messung der Koordinaten zusammengehöriger Bildpunkte (Stereokomparator, s. S. 55).

Im Gebrauch des Stereomikrometers sind die Teilbilder so in das Stereoskop zu bringen (Abb 67), daß die Haupthorizontale parallel dem Zeigerträger  $T$  sind und die Bildhauptpunkte  $H$  in die optischen Achsen der Beugungslinsen fallen (s. S. 57). Hierauf werden die Zeigerspitzen  $m_1$  und  $m_2$  auf die angegebenen Verschiebungseinrichtungen auf die irgendwie markierten Hauptpunkte eingestellt (stereoskopische Prüfung der Einstellung, die Marke muß in gleicher Tiefe erscheinen wie das Raumbild des Hauptpunktes) und die entsprechenden Ablesungen  $\xi_0, \eta_0, \pi_0$  an den drei Skalen gemacht.

Man nun die Zeigerspitzen auf die zusammengehörigen Bildpunkte  $q_1$  und  $q_2$  einstellen, so ergeben sich zunächst aus den entsprechenden Ablesungen  $\xi_1$  und  $\eta_1$  der Zeiger und am linken Zeiger die Koordinaten des Bildpunktes

$$x_1 = \xi_0 - \xi_1 \quad (7)$$

$$y_1 = \eta_0 - \eta_1 \quad (8)$$

Der Teilung für die seitliche Verschiebung von  $Z_2$  bzw. an der Trommel der Schraube  $s$  liest man (wieder nach stereoskopischer Vergleichung der Raumbildpunkte  $Q$  und der Raummarke) die Einstellung  $\pi_1$  ab, aus der

$$p_1 = \pi_0 - \pi_1 \quad (9)$$

<sup>1</sup> PULITICH, Int. Arch. f. Photogram. 2, 1911, S. 149



wobei  $p_1$ , entsprechend dem  $v$  in Abb 65, gleich der Differenz  $x_1 - x_2$  der Bildpunktabzissen ist

Rekonstruktion des optischen Modells Aus den angeführten Messungsergebnissen lassen sich, zunächst für den Fall, daß die Aufnahmen ein „Normalstereogramm“ darstellen (s. oben), die auf den Standpunkt  $O_1$  und die Basisrichtung bezogenen Raumkoordinaten  $E_1$ ,  $X_1$  und  $Y_1$  jedes am „optischen Modell“ eingestellten Objektpunktes mittels einfacher Proportionen ableiten. An der der Abb 67 entsprechenden Grundrißfigur Abb 68 erkennt man, nachdem durch die Kartenprojektion  $Q_0$  des Objektpunktes  $Q$  eine Parallele zur Basis  $B$  und durch den Standpunkt  $O_1$  eine Parallele zur Bildstrahlprojektion  $O_1 Q_0$  gezogen wurde, daß

$$E_1 = \frac{B}{p_1} f, \quad (10)$$

worin die Verschiebung (Parallaxe)  $p_1$  (vgl. auch S 31 u 33) das Bild der (hier wagrechten) Basis  $B$  ist

Entsprechend folgt für die Abszisse  $X_1$  des Punktes  $Q$ ,

$$X_1 = \frac{B}{p_1} x_1 \quad (11)$$

und für die Hohendifferenz des Objektpunktes gegen den (linken) Aufnahmehorizont

$$Y_1 = \frac{B}{p_1} y_1 \quad (12)$$

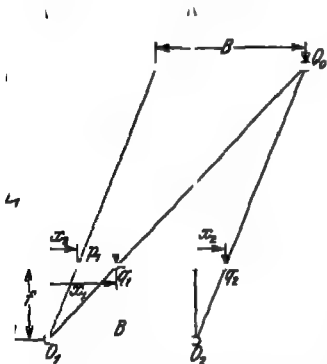


Abb 68 Normalfall der Stereophotogrammetrie

Die Formeln (10) bis (12) entsprechen notwendig den auf S 47 entwickelten KOPFESCHEN Berechnungsformeln (3) bis (5) für den „Normalfall“ Selbstverständlich sind auch die dort für den „Verschwenkungsfall“ angegebenen Formeln (3'') bis (5'') für die Rekonstruktion stereoskopisch ausgemessener verschwenkter Aufnahmen unmittelbar verwendbar

Aus diesen Formeln werden die Raumkoordinaten der Objektpunkte (meist genügend genau mit dem Rechenschieber) berechnet, worauf die Werte  $E_1$  und  $X_1$  zweckmäßig auf Millimeterpapier aufzutragen und die den so gefundenen Einzelpunkten entsprechenden Höhen  $H_1$  über einem gemeinsamen Horizont — gewöhnlich über Normal-Null — beizuschreiben sind. Dabei ergibt sich  $H_1$  aus der nach den üblichen Vermessungsmethoden zu bestimmenden Höhe  $H'_{0,1}$  des (linken) Standpunktes (Objektivmittelpunktes) über NN und der Raumkoordinate  $Y_1$  nach der Beziehung

$$H_1 = H_{0,1} + Y_1 \quad (13)$$

Auf Grund dieser erforderlichenfalls wegen Erdkrümmung und Refraktion zu verbessernden<sup>1</sup> Höhenzahlen erfolgt die Konstruktion der Schichtlinien in bekannter Weise durch Interpolation, wobei der Vergleich der Kartierung mit dem Raummodell eine naturgetreue Wiedergabe der Oberflächenformen wesentlich erleichtert

Die für Normalstereogramme gültige Berechnungsformel (10) läßt erkennen, daß die Horizontalprojektion aller Punkte des Raummodells, denen die gleiche Parallaxe  $p_1$  zukommt, auf einer Parallelen zur Basis im Abstand  $E_1$  liegen, so daß die Gesamtheit aller dieser Raumpunkte ein zur Basis paralleles

<sup>1</sup> Die Korrektur (in cm) ist näherungsweise  $+7 E^2$  ( $E$  in km)

fil des Objektes darstellt. Die Feststellung beliebiger Punkte dieses Profils geschieht, nachdem eine passend gewählte Parallaxe  $p_1$  an der Meßschraube  $s$  (b 66) eingestellt wurde, durch einfaches Seitwärtsverschieben des Trägers  $T$  (Ablesung  $x$ ), worauf die Zeiger  $Z_1$  bzw.  $Z_2$  so lange vertikal zu verfahren sind, bis die Raummarke die Objektfläche scheinbar berührt (Ablesung  $y$ ). Das Kartieren nach parallelen Profilen bietet natürlich auch hinsichtlich Koordinatenberechnung besondere Vorteile, da für alle Punkte des Profils

die Beziehungen (10) bis (12) der Faktor  $\frac{B}{p_1}$  konstant ist.<sup>1</sup>

Beim „Verschwenkungsfall“ ist eine derartige Arbeitserleichterung nicht zu erzielen, da hier, wie eine Untersuchung der Gleichung (4'') auf S. 49 zeigt,<sup>2</sup> die Zentralprojektionen der Punkte gleicher Parallaxe auf einem Kegelschnitt (Abel) liegen. Aus diesem Grunde, wie auch mit Rücksicht auf die Komplexität der entsprechenden Koordinatenformeln ist die punktweise Auswertung von verschwenkten Aufnahmen im allgemeinen wirtschaftlich nicht zureichend. Noch ungünstiger sind die Verhältnisse bei konvergenten oder gar abgelenkten Aufnahmen (vgl. S. 49). Man beschränkt sich deshalb in der Praxis auf den Normalfall. Die hierfür erforderliche Einhaltung genauer optischer Aufnahmegeräte macht besondere Einrichtungen an den Aufnahmegeräten notwendig (s. S. 128, 131).

**15 Stereokomparatoren. Konstruktionsprinzip.** Die oben angegebene Genauigkeit in der Wahrnehmung von Tiefenunterschieden kann durch Instrumente von der Art des Stereomikrometers nur in sehr geringem Maße genutzt werden. Falls die Messung des Spitzenwinkels aus Photogrammen der möglichen Beobachtungsscharfe entsprechen soll, muß das verwendete Gerät bei einer Aufnahmebildweite von z. B. 200 mm die Wahrnehmung bzw. Messung einer linearen Differenz zwischen Meßmarke und Bildpunkt von mindestens  $200 \frac{10''}{206265} = 0,01 \text{ mm}$  gestatten. Dazu ist zunächst erforderlich, daß

und Einstellmarke dem Auge in einer entsprechenden Vergrößerung dargestellt werden, die mit einem bloßen Betrachtungsstern nicht zu erzielen ist. Außerdem müssen die entsprechend feinen Einstellmarken mit der Bildebene genau zusammenfallen, um Einstellfehler zu vermeiden. Diese beiden Hauptforderungen werden erfüllt, wenn die Betrachtung der Meßbilder mittels

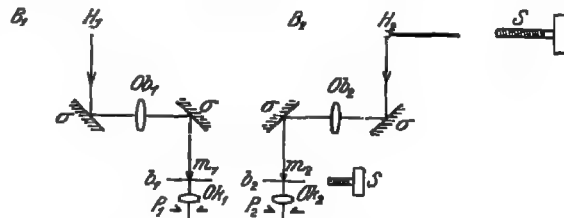


Abb. 60 Schematische Darstellung des PULFRICHschen Stereokomparators

des binokularen Mikroskops erfolgt. Abb. 69 zeigt schematisch den Schnitt durch die optischen Achsen des Doppelmikroskops eines solchen „Stereokomparators“, der im Prinzip eine Vereinigung zweier Mikroskopkomparatoren (Abb. 54 u. 55) darstellt und eine Sondereinrichtung zur unmittelbaren Messung

<sup>1</sup> H. Dock, Bildmessung und Luftbildwesen 2, 1927, S. 65.

<sup>2</sup> Vgl. z. B. H. Dock, Photogrammetrie und Stereophotogrammetrie, Sammlungen, Bd. 699, Berlin und Leipzig 1923.

<sup>3</sup> Verwendet werden zumeist keilförmige Marken, deren Spitze zur Einstellung, oder einfache Punkte. Bisweilen erweist es sich als vorteilhaft, beiden Marken solche Gestalt zu geben (z. B. je ein gleich großer Kreis mit exzentrischem Punkt), die Raummarke selbst als ein Objekt mit Tiefenausdehnung erscheint.

der Abszissendifferenzen (Parallaxen) besitzt. Von den Meßbildern (Ordnungen negativen oder Diapositiven)  $B$ , die in geeigneter Weise von rückwärts beleuchtet sind, werden durch die Objektive  $Ob$  unter Vermittlung der Spiegelle Bilder in den „Bildfildebenen“  $b$  entworfen. In den gleichen Ebenen die Einstellmarken  $m$  angebracht. Die Betrachtung erfolgt durch die Okulare, deren Vergrößerung, beschränkt durch die Größe des Plattenkornes (Seit etwa fünffach ist. Zur Einstellung beliebiger Bildpunkte sind beide Meß auf einem gemeinsamen Schlitten gelagert, der eine gleichzeitige Verschiebung beider Bilder in Richtung der Haupthorizontalen gestattet. Außerdem läßt entweder dieser Schlitten oder das Doppelmikroskop in Richtung der Vertikalen verschieben. Die jeweilige Stellung der Schlitten wird an entsprechenden Skalen auf 0,1 mm abgelesen. Durch diese Verschiebungsrichtungen

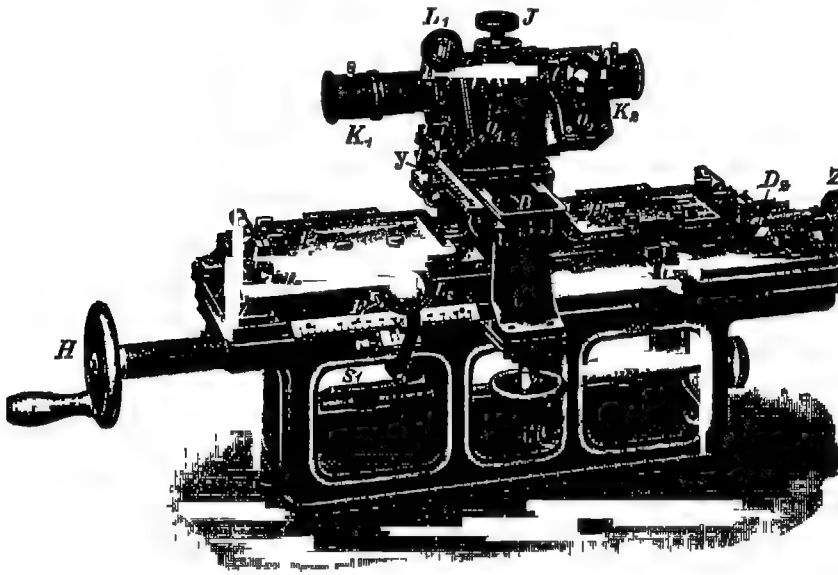


Abb 70 Stereokomparator nach C. PULFRICH

im allgemeinen jeweils nur einer der beiden zusammengehörigen Bilder (gewöhnlich der linke) an die entsprechende Einstellmarke gebracht wird. Der andere (rechte) Bildpunkt wird gegen die entsprechende Einstellmarke Verschiebung aufweisen, die bei horizontaler Basis der Abszissendifferenz (Horizontalparallaxe) beider Bildpunkte entspricht. Ihre Messung kann weder durch Verschiebung der (rechten) Einstellmarke mittels der Schraube, aber durch relative Verschiebung des rechten Meßbildes gegen das linke, noch durch die Schraube  $S$  erfolgen. Das erste Verfahren entspricht ganz dem Vorgang am Stereomikrometer, ist aber unzuweckmäßig, da es die gesuchte Abszissendifferenz hier nicht unmittelbar liefert und auch nur bei geringen Werten der Parallaxe anwendbar ist. Bei dem im allgemeinen stets benutzten zweiten Verfahren bleiben beide Einstellmarken unveränderlich fest. Das hat zur Folge, daß der Beobachter, ganz unabhängig von der Größe des Spitzwinkels, immer mit der gleichen Stellung der Augachsen beobachtet, während beim ersten Verfahren mit abnehmender Raumpunktentfernung eine immer zunehmende Konvergenz der Augachsen eintritt. Mit der Zunahme des Konvergenzwinkels ist aber eine empfindliche Verminderung der Genauigkeit der

nehmung verbunden. Der optische Effekt einer relativen Verschiebung der Stellmarken oder der Meßbilder ist übrigens für den Beobachter der gleiche, er in beiden Fällen den Eindruck, als ob die Raummarke sich nähert oder fernt („wandernde Marke“).

**Komparator nach C. PULFRICH.** Die erste allgemein bekannt gewordene Konstruktion eines Stereokomparators (Abb. 70) rührt von C. PULFRICH<sup>1</sup> her. Die Meßbilder  $P_1$  und  $P_2$  werden hier mittels der Schrauben  $D_1$  und  $D_2$  so ausrichtet, daß die Haupthorizontalen beider Bilder parallel der Verschiebungslinie des Hauptschlittens bzw. parallel der Abszissenskala werden. Nach Einstellung der beiden oberen (oder unteren) Bildmarken der Hauptvertikalen mittels des Handrades  $H$  und der Parallaxenschraube  $Z$  (mit stereoskopischer Führung der genauen Einstellung) und einer der linken (oder rechten) Bildmarken der Haupthorizontalen durch Verschiebung des Mikroskopschlittens (Rad  $V$ ) (Hauptpunkteinstellung) werden die  $x$ -,  $y$ - und  $p$ -Skalen so verschoben, daß an jeder dieser Skalen 0,0 mm bei Einstellung eines beliebigen Punktes also unmittelbar dessen Bildpunktkoordinaten  $x_1, y_1$  und dessen

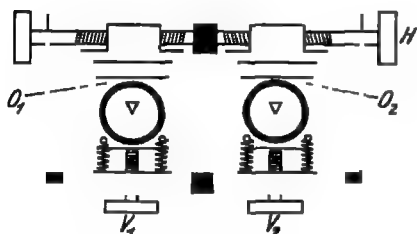


Abb. 71 Doppelokular nach R. HUGERSHOFF

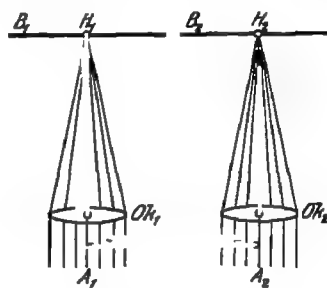


Abb. 72 Strahlengang im einfachen Linsenstereoskop

Parallaxe  $p_1$  abgelesen werden. Mit diesem PULFRICH'schen Stereokomparator wurde die erste stereophotogrammetrische Gelandeaufnahme<sup>2</sup> durchgeführt.<sup>3</sup>

**Optische Voraussetzungen für das stereoskopische Messen.** Die Schmelzung der beiden im Doppelmikroskop gesehenen Teilbilder zu einem einzigen Modell ist selbstverständlich nur dann möglich, wenn beide Augen das gesamte Bildfeld gleichzeitig überblicken können. Das setzt voraus, daß die Pupillen der Augen an der Stelle der Austrittspupillen der entsprechenden Stereoskope befinden. Die Austrittspupillen  $P$  (Abb. 69), durch die von den Okularen  $Ok$  entworfenen reellen Bilder der Objektive  $Ob$ , lassen sich durch eine Verschiebung der Okulare verlagern und somit dem individuellen Augenabstand des Beobachters anpassen. Diese Anpassung geschah an stereoskopischen Meßgeräten bisher nur hinsichtlich des wagrechten Augenabstandes, aber die Augen bei gerader Kopfhaltung sehr häufig auch einen Höhenunterschied aufweisen, so müssen die Okulare notwendig auch vertikal verschoben sein. Die hierzu erforderliche, von R. HUGERSHOFF<sup>4</sup> angegebene Einrichtung

<sup>1</sup> C. PULFRICH, ZS f. I. 22, 1902, S. 65, 133, 178, 220.

<sup>2</sup> DERSELBE, ZS f. I. 23, 1903, S. 317, vgl. auch A. v. HUBL, Mitt. d. k. u. k. militär. Inst., Wien, 22, 1902, S. 139, ebenda 23, 1903, S. 182, und ebenda 24, 1904, S. 143.

<sup>3</sup> Außer dem abgebildeten PULFRICH'schen Stereokomparator baut die Firma ZEISS in Jena auch einen Spezialkomparator (Stereometer) für Nahaufnahmen mit einer Doppelkammer. Vgl. S. 143.

<sup>4</sup> D. R. P. Nr. 484059.

ist in Abb 71 dargestellt. Die auf den Schlitten  $O$  befestigt zu denkenden Okularkonnen durch den Trieb  $H$  gemeinsam in horizontaler und durch die Schraube einzeln in vertikaler Richtung verschoben werden.<sup>1</sup>

Anders als bei binokularen Mikroskopen liegen die Verhältnisse bei einfachen Betrachtungsstereoskopen (Abb 72). Hier sind die Okulare (vgl. S. 53) so einzustellen, daß ihre parallelen optischen Achsen durch die Hauptpunkte (Fokuspunkte) gehen. Der Forderung, die Teilbilder gleichzeitig überblicken zu können, wird Rechnung getragen durch Wahl eines genügend großen Linsendurchmessers, so daß die Augen  $A$  auch bei verschiedenem großem horizontalen und vertikalem Abstand noch innerhalb des austretenden Strahlenbündels bleiben.

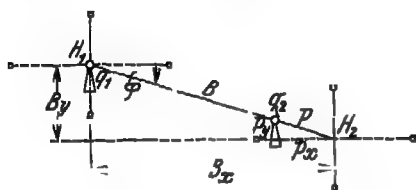


Abb 73 Stereogramm mit geneigter Basis, natürliche Lage

solches Normal-Stereogramm in natürlicher Lage der Teilbilder dargestellt. Die Entfernung der Hauptpunkte entspricht dabei der (beliebig verjüngten) Basis  $B$ , deren Neigungswinkel  $\varphi$  sei. Mit  $B_x$  ist die für die Kartierung in der Ebene kommende Horizontalkomponente der Basis  $B$  und mit  $B_y$  ihre Vertikalkomponente bezeichnet. Dem linken, der Einfachheit halber im Hauptpunkt angenommenen Bildpunkte  $q_1$  ist im rechten Bild der Punkt  $q_2$  zugeordnet.

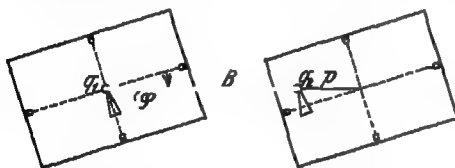


Abb 74 Stereogramm nach Abb 73, nach einer Drehung entsprechend der Basisneigung

Betrachtungsstereoskop und (entsprechend der obigen Forderung) nur bei einer Rechtsneigung des Kopfes um den Winkel  $\varphi$  möglich. Im Stereoskopvergleich ist die Kopfhaltung durch die unveränderlich wagrechte Lage der Eimermarken-Verbindungsline vorgeschrieben, dementsprechend wäre zur Erzielung eines Verschmelzungsbildes die Basis um den Winkel  $\varphi$  in die wagrechte Lage zu drehen, d. h. die Meßbilder wären (Abb 74) um den Winkel  $\varphi$  vertikal in die Bildschlitten einzulegen.<sup>2</sup> Diese Bildlage, bei der das Raummodell den Winkel  $\varphi$  nach links geneigt erscheint, ist für die Ausmessung ungeeignet, da man jetzt die für die Kartierung erforderlichen Bildpunktkoordinaten Horizontalparallaxen nicht unmittelbar ablesen kann.

Man legt deshalb in der Praxis ganz allgemein die Meßbilder auch bei Horizontalunterschieden der Standorte in der üblichen Weise in den Stereoskopvergleich.

<sup>1</sup> Die Okulare sind außerdem noch mit Drehkeil Paaren ausgerüstet, durch welche die aus den Okularen austretenden Strahlenbündel in die Richtung der Augachsen gelenkt werden.

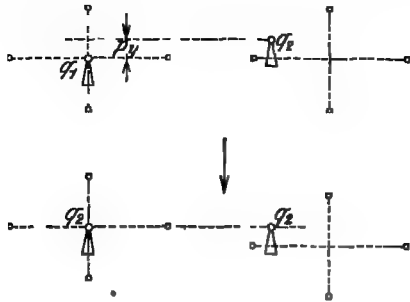
<sup>2</sup> E. DOLŽAL, Int. Arch. f. Photogram. 1, 1908, S. 116.

Zu einer Verschmelzung der beiden Teilbilder ist es noch notwendig, daß durch die beiden Augachsen bestimmter Ebene zusammenfällt mit der Ebene des Bestimmungsdreiecks, der „Kernsebene“ (vgl. S. 39) des jeweils betrachteten Raumpunktes. Das ist von Bedeutung für den noch nicht behandelten Fall der Ausmessung eines Stereogramms, von den Enden einer geneigten Basis aufgenommen wurde. In Abb 73 ist

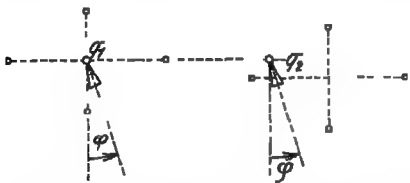
Die Differenz der Abszissen dieser Punkte entspricht der Horizontalkomponente  $p_x$  der „totalen“ Parallaxe  $p$ . Für die Berechnung der Raumkoordinaten des Punktes  $Q$  kommt offenbar nur die „Horizontalparallaxe“ in Betracht.

Die stereoskopische Betrachtung des vorliegenden Bildpaares in seiner „natürlichen“ Lage ist nur im einfachen

bb 75) Da die zusammengehörigen Bildpunkte verschiedene Ordinaten haben, deren Differenz der Vertikalparallaxe entspricht (Abb 73), ist zur Einstellung der Bildpunkte eine gesonderte Ver-



b 75 und 76 Lage des Stereogramms im Komparator vor und nach Beseitigung der Vertikalparallaxe



b 77 Optische Dichtung des Raummodells gemäß Abb 74

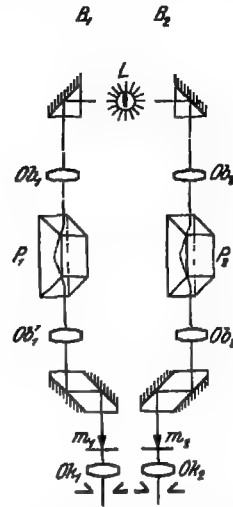


Abb 78 Optisches Betrachtungssystem des Stereokomparators nach R. HUGERSHOFF

uebung (Abb 76) des rechten ldes gegen das linke in der y-ichtung (Schraube C in Abb 70) orderlich. Damit ist nun auch r, wie in Abb 74, die Ebene des ßdreiecks in die Ebene der Mikroskopzielachsen gebracht worden, ie Verschmelzung zum Raumbild aber trotzdem nur unvollkommen d nur in unmittelbarer Nahe des urpunktes Q eingetreten, da hier zur Verschmelzung innerhalb des amten Bildfeldes nötige Schief-llung des Raummodells fehlt ese Schiefstellung läßt sich nach iem Vorschlag von R. HUGERSHOFF einfach dadurch erzielen, daß n nicht die Originalmeßbilder, ntern deren von den Mikroskopjektiven erzeugte optische Bilder eht<sup>1</sup> (Abb 77)

Komparator nach R. HUGERSHOFF. Zum Zwecke dieser Dreng wird in den Strahlengängen jedes Mikroskopobjektivs (Abb 78) ein Umkehr-

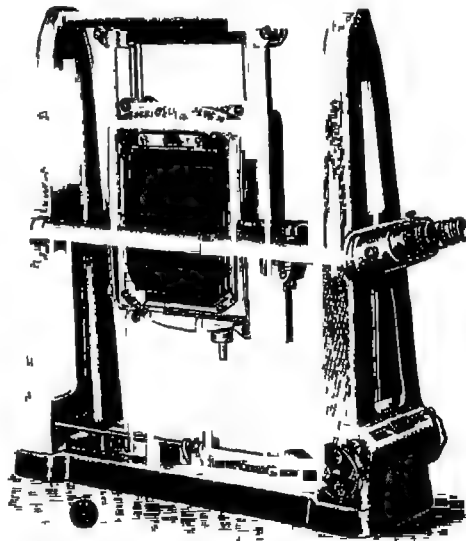


Abb 79 Stereokomparator nach R. HUGERSHOFF

<sup>1</sup> D. R. P. Nr. 358 255

prisma<sup>1</sup> (Dovesches Prisma)  $P$  eingeschaltet, dessen Drehung um seine Längsachse um den Winkel  $\frac{\varphi}{2}$  eine Drehung des Bildes um den Winkel  $\varphi$  bewirkt. Das Instrument unterscheidet sich auch äußerlich (Abb 70) wesentlich von dem PULFRICHschen Stereokomparator. Die Meßbilder  $B$  liegen hier parallel nebeneinander, sie können sowohl in der  $x$ -Richtung als auch in der  $y$ -Richtung verschoben werden. Dementsprechend erfolgt die Betrachtung durch ein feststehendes Doppelmikroskop, dessen Okulare  $Ok$  die in Abb 71 dargestellte Einrichtung zur Anpassung der Austrittspupillen an die individuelle Augenlage des Beobachters gestatten. Die Beleuchtung des gemeinsamen Bildfeldes geschieht durch eine kleine, fest gelagerte 4 Volt-Lampe  $L$ . Die Ablesung der Bildpunktkoordinaten kann sowohl an Skalen wie auch an Zahlwerken vorgenommen werden.

## V. Kontinuierlich-automatische Rekonstruktion des Objektes aus einem Bildpaar (Autogrammetrie)

Zu einer kontinuierlichen Übertragung von Linienelementen einer beliebigen auf zwei Meßbildern dargestellten Oberfläche in ihre Orthogonalprojektion sind besondere Apparate angegeben worden, von denen im folgenden nur diejenigen eingehende Erwähnung finden können, die über einen — zumeist Patentschriften niedergelegten — Entwurf hinausgekommen sind und zur praktischen Verwendung finden.

Alle diese Instrumente mechanisieren im wesentlichen das bereits geschilderte Verfahren des Vorwärtseinschneidens. Jeder der beiden den Objektpunkt durchdringenden Strahlen wird dabei — entsprechend dem Aufnahmeprozess — festgelegt durch den entsprechenden Bildpunkt und das zugehörige Zentrum der photographischen Perspektive (Bildstrahl). Der zum Schnitt zu bringende Teil des Strahls (Zielstrahl) kann dann durch diesen Zielstrahl selbst oder aber durch eine Verkörperung desselben (mittels Hebel) dargestellt werden.

Im ersteren Falle wird der Strahlenschnittpunkt während der Rekonstruktion im allgemeinen unmittelbar beobachtet und durch eine körperliche Raummarke fixiert. Die unmittelbare Beobachtung kann erfolgen unter stereoskopischer Betrachtung der Bildpaare (Stereoplanigraph von DEVILLE) oder unter gleichzeitiger oder sukzessiv-intermittierender Projektion der Meßbilder (Doppelprojektoren nach SCHEIMPFLUG in den Ausführungsformen von GASSER, NITZ und FERBER).

Im zweiten Falle, dem der Verkörperung der Strahlen, zeigt stets eine virtuelle Raummarke (Prinzip von STOLZE) die jeweilige Stellung des Hebelschnittpunktes gegenüber dem virtuellen Raummodell an. Die verschiedenen konstruktiven Durchführungen dieses Gedankens (Stereonautograph von v. O. Autokartograph und Aerokartograph von HUGERSHOFF, Autograph von W. unterscheiden sich im wesentlichen durch die Art der mechanisch-optischen Kupplung zwischen Bildstrahl und Übertragungshebel.

Die virtuelle Raummarke kann aber auch bei den Verfahren des ersten Zwecks zweckmäßig Verwendung finden. So ist das Stereotopometer von PRÉDHUM eine derartige Umbildung des DEVILLEschen Stereoplanigraphen, während sich der Stereoplanigraph von BAUERSELD und der Aerosimplex von HUGERSHOFF aus entsprechenden Umbildungen des Doppelprojektors von SCHEIMPFLUG erge-

<sup>1</sup> CH. v. HOFER, Fernoptik, Leipzig 1921.

Eine Sonderstellung nimmt das ebenfalls von SCHEIMPFLUG angegebene erfahren der Zonentransformation ein, das allerdings nur eine Approximationslösung für einen Spezialfall der Aufgabe darstellt. Auch von den anderen obenwahnten Instrumenten löst übrigens praktisch nur ein Teil das allgemeine Problem der Photogrammetrie.

### A. Spezielle Lösungen der Aufgabe

16. Der Stereoplanigraph nach Deville. Die Konstruktionen von Pulfrich, rendelenburg, Beyerlein und Prédhumeau. Das von E. DEVILLE vorgeschlagene<sup>1</sup> Instrument, für das C. PULFRICH<sup>2</sup> den Namen Stereoplanigraph einführt, ist in Abb. 80 dargestellt. Es ist im wesentlichen ein WHEATSTONEsches Spiegelstereoskop, dessen Spiegel schwach versilbert und infolgedessen halb durchsichtig sind. Die vor den Blendenöffnungen *D* zu denkenden Augen des Beobachters erblicken durch Vermittlung der Spiegel ein vir-

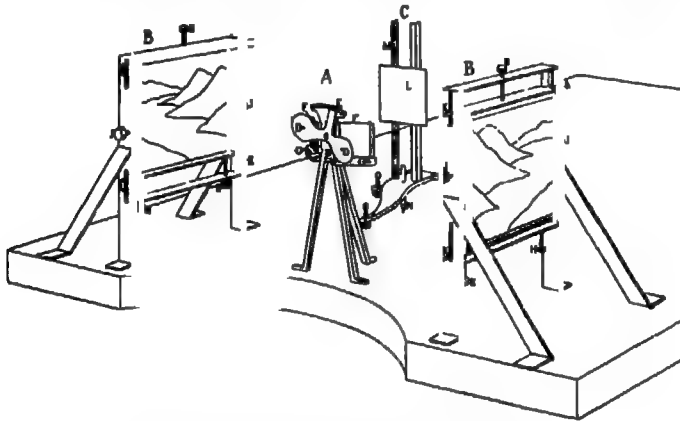


Abb. 80 Stereoplanigraph nach E. DEVILLE

uelles Modell des durch die Meßbilder *B* abgebildeten Objekts. In dieses virtuelle Raummodell hinein stellt nun DEVILLE eine körperliche Marke, nämlich einen leuchtenden Punkt *L*, der mittels des Gestells *C* horizontal und vertikal beliebig verschoben und somit scheinbar mit jedem beliebigen Punkt des Objektmodells zur Deckung gebracht werden kann. Ein am Gestell *C* angebrachter Bleistift *N* markiert dann die Horizontalprojektion des jeweils angestellten Objektpunktes. Beläßt man die Raummarke *L* in einer bestimmten konstanten Höhe über der Zeichenfläche und verschiebt das Gestell *C* so, daß *L* unterbrochen in scheinbarer Berührung mit der Oberfläche des Objektmodells steht, so wird *N* eine Schichtlinie aufzeichnen. Das virtuelle Modell des Objekts ist diesem selbst natürlich nur dann ähnlich, wenn die Länge des gespiegelten Strahles vom Hauptpunkt bis zur Blendenöffnung gleich der Bildweite der Aufnahmekammer ist und wenn die Meßbilder *B* (abgesehen von der konstanten, durch die Spiegelung bedingten Verschiebung) im Zeichengerät die gleiche Orientierung gegeneinander und zum Zeichenbrett (Horizont) erhalten, die sie bei der Aufnahme hatten. Hinsichtlich der äußeren Orientierung läßt das Gerät praktisch nur die Ausarbeitung von Normalstereogrammen zu, d. h. von

<sup>1</sup> Vgl. S. 40, Fußnote 8

<sup>2</sup> C. PULFRICH, ZS. f. I. 23, 1903, S. 133



Aufnahmepaaren, die in einer gemeinsamen Ebene liegen, welche bei der c gestellten Ausführungsform des Instruments notwendig senkrecht sein n (terrestrische Normalstereogramme mit horizontalen Achsen) Bei einem Höh unterschied der Aufnahmestandpunkte waren hier, wie in der Abb 80 angedei ist, die Meßbilder in ihrer Ebene entsprechend vertikal zu verschieben und schiefer Kopfhaltung zu betrachten, die Meßbilder konnten aber auch bei r maler Kopfhaltung betrachtet werden, wenn sie entsprechend der Abb auf S 58 um den Neigungswinkel der Basis verkantet eingelegt würden i wenn die Zeichnung auf einer besonderen um den gleichen Winkel seitlich neigten Fläche erfolgte Das Gerät läßt sich mit geringen Abänderungen a für solche Normalstereogramme verwenden, deren gemeinsame Bildebene liebig geneigt ist In einem solchen Falle wäre offenbar die Zeichenfläche in Blickrichtung entsprechend dem Neigungswinkel der Aufnahmeachsen eb falls zu neigen In Weiterführung dieses Gedankens könnte das Gerät, falls praktisch möglich wäre, Normalstereogramme mit genau vertikalen Achsen v



Abb 81 Auswertgerät für Röntgenstereogramme nach W TRENDLENBURG

Luftfahrzeugen aus herzustellen, auch zur Auswertung solcher Aufnahmen nutzt werden, nur müßte hier eine vertikale Zeichenfläche verwendet und Raummarke parallel bzw winkeltecht zu dieser Vertikalebene verschoben werd

In die topographische Praxis hat sich das DEVILLESche Instrument in sei ursprünglichen Form nicht einführen können Das liegt zunächst daran, daß Maßstab des virtuellen Modells, der sich aus dem Verhältnis des Abstandes Okularblenden zur Länge der Aufnahmebasis ergibt, nicht beliebig vorgeschrie werden kann und bei terrestrischen topographischen Aufnahmen im allgemei so groß wird, daß das Auge nicht gleichzeitig auf den nahen Bildpunkt und ferne Raummarke zu akkommodieren vermag

Dagegen hat sich das DEVILLESche Prinzip unmittelbar als äußerst nutz erwiesen für die exakte Ausmessung von Röntgen-Stereogrammen<sup>1</sup> Hier k im allgemeinen die Aufnahmebasis der Apparatebasis gleich gemacht werd so daß das virtuelle Modell des Objekts in unmittelbarer Nahe des Beobacht und zwar in Originalgröße, entsteht Infolgedessen treten Akkommodatio

<sup>1</sup> W TRENDLENBURG, Stereoskopische Raummessung an Röntgenaufnahm Berlin, J Springer, 1917, A P F RICHTER, Bildmess u Luftbildwes 2, 11 S 51, H WENDT, Techn Mitt für Röntgenbetriebe, 1919, C H F MÜLLER A Hamburg, C BEYERLEN, Bildmess u Luftbildwes 4, 1929, S 67

wierigkeiten nicht auf und die Messungen lassen sich mit großer Genauigkeit durchführen. Den Bedürfnissen der speziellen Aufgabe besonders angepaßt sind die Konstruktionen von TRENDLENBURG und BEYERLEN. Die erstere Konstruktion (Abb 81) zeigt die gleiche Anordnung der Meßbilder wie beim DEVILLESchen Vorschlag, dem zwischen Stereogramm und Beschauer erscheinenden virtuellen Modell können durch Verschiebung einer DEVILLESchen Raummarke oder auch unmittelbar mit Hilfe eines Zirkels Maße entnommen werden. Das Gerät von BEYERLEN, dem „Stereoorthodiographen“ (Abb 82), sind beide

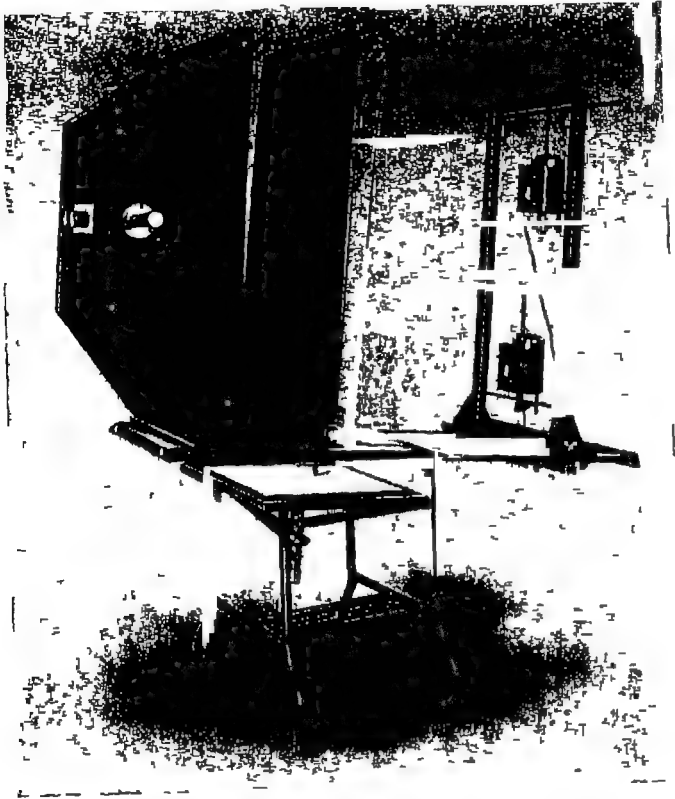


Abb 82 Stereoorthodiograph nach C. BEYERLEN

nahmen in einer gemeinsamen Vertikalebene übereinander angeordnet, wobei ein eigenartiges Betrachtungsokular die Teilbilder des Stereogramms den entsprechenden Augen zuführt. Die Messungen am Modell erfolgen mittels der Schatten einer seitlich und dem Abstand nach beliebig einstellbaren Raummarke in einer vertikalen Drahtes und einer an diesem verschiebbaren Höhenmarke. H. PULFRICH<sup>1</sup> hat eine zur Ausmessung von Röntgenstereogrammen geeignete einfache Vorrichtung angegeben, deren wesentlicher Teil ein Doppelprisma ist, bei dem mit Hilfe von verschiebbaren einfachen Spiegelprismen drehbaren Rhombenprismen eine Anpassung an den individuellen Augenabstand des Beobachters ohne Veränderung der Apparatebasis erzielt wird. Eine praktisch beachtenswerte Abänderung erfüllt das DEVILLESche Prinzip

<sup>1</sup> C. PULFRICH, ZS f I 38, 1918, S 17

durch J. PRÉDHUMEAU. Das Wesentliche der Konstruktion seines „Stereotopometers“<sup>1</sup> zeigt Abb. 83. Die Teilbilder  $B_1$  und  $B_2$  eines Normalstereogramms werden entsprechend dem Aufnahmevorgang in der gleichen Ebene, aber in einem unveränderlichen Abstand  $a$  nebeneinander gelagert. Ihre Betrachtung erfolgt von rückwärts her durch ein HELMHOLTZSches Spiegelstereoskop, das aus den Spiegeln  $s''$  und dem Okular  $Ok_1$  bzw. den Spiegeln  $s'$  und dem Okular  $Ok_2$  besteht. Jenseits der Meßbilder sind die Objektive  $Ob_1$  und  $Ob_2$  so angebracht, daß ihr Abstand von den Hauptpunkten  $H_1$  und  $H_2$  gleich der Bildweite der Aufnahmekammer ist. Einem im Objektraum liegenden Punkt  $Q$  entsprechen die Bildpunkte  $q_1$  bzw.  $q_2$ . Bewegt man im Objektraum eine geeignet beleuchtete Raummarke  $M$  so, daß ihre durch die Objektive  $Ob_1$  und  $Ob_2$  auf den Meßbildern erzeugten Abbildungen  $m_1$  und  $m_2$  mit den Bildpunkten  $q_1$  und  $q_2$  zusammenfallen, so gibt die Stellung der Raummarke  $M$  die räumliche

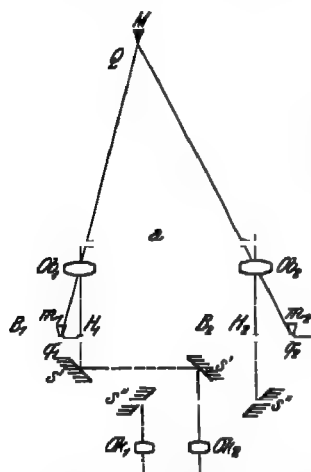


Abb. 83 Wirkungsweise des Stereotopometers von J. PRÉDHUMEAU

Lage des Objektpunktes  $Q$  an. Ein mit der Raummarke  $M$  verbundener Bleistift zeichnet somit, ganz entsprechend dem DEVILLESchen Vorschlag, beim Entlangführen der Raummarke an der Oberfläche des Raummodells Situations- bzw. Schichtlinien auf, wobei der Maßstab der Kartierung gleich dem Verhältnis des Abstandes  $a$  zur Horizontalprojektion der Aufnahmebasis ist. Die Brennweite der Objektive  $Ob_1$  und  $Ob_2$  ist so bemessen, daß sich die Raummarke bei mittlerer Lage im Objekt- bzw. Kartenraum scharf auf den Meßbildern abbildet. Bei anderer Markenstellung ergeben sich notwendig Einstellfehler, die aber dadurch einigermaßen unschädlich gemacht werden, daß das Betrachtungsstereoskop (das bei der praktischen Ausführung des Gerätes als Doppelfernrohr ausgebildet ist) mit der Raummarke mechanisch so gekuppelt wird, daß die Blickrichtung immer nahezu in die Richtung der Bestimmungstrahlen  $q_1Q$  bzw.  $q_2Q$  fällt.

Die Raummarke ist (vgl. Abb. 84) in einem vertikalen Rahmen mittels zweier Handräder vor und zurück und hoch und tief verschiebbar, der Rahmen selbst kann mittels einer Fußscheibe verschwenkt werden. Der Bleistift ist am Markenträger nicht unmittelbar, sondern unter Zwischenschaltung eines Pantographen befestigt, mit dessen Hilfe die horizontalen Komponenten der zunächst in einem „wildem“ Maßstab vor sich gehenden Markenbewegung auf einen vorgeschriebenen Maßstab gebracht werden können. Die Originalaufnahmen haben ein Format von etwa  $5 \times 5$  cm, sie werden in einer Doppelkammer nacheinander auf einer Platte vom Format  $6 \times 13$  cm gemacht. Die Kammer dient gleichzeitig als Plattenhalter für das beschriebene Auswertegerät. Das Stereogramm kommt nach seiner Entwicklung wieder in die Kammer, dabei werden zwischen Platte und Betrachtungssystem Kollektivlinsen angebracht, um die austretenden Strahlen in die Blickrichtung zu lenken, während vor die Aufnahmeobjektive besondere Vorsatzlinsen gesetzt werden, durch welche die Brennweite dieser Objektive die zwecks Abbildung der nahen Raummarke erforderliche Verkürzung erfährt.

<sup>1</sup> F. P. Nr. 519, 841, O. KOEBNER Centralztg. f. Opt. u. Mech. 43, 1922, S. 457, J. PRÉDHUMEAU, C. r. 170, 1924

Das Gerät ist in der vorliegenden Form nur für die Auswertung von Normalstereogrammen mit horizontalen Achsen brauchbar, obwohl das DEVILLE'sche Prinzip, wie oben gezeigt wurde, grundsätzlich auch für Normalstereogramme, beliebig geneigten Achsen anwendbar ist. Ein Höhenunterschied der Standpunkte wird dadurch berücksichtigt, daß man die Doppelkammer sowohl bei der Aufnahme als auch bei der Montage im Auswertegerät um eine Parallele zu den optischen Achsen der Objektive entsprechend dem Neigungswinkel der Basis leicht neigt. In diesem Fall ist allerdings die auf S 58 ausgesprochene Forderung, daß die Ebene des Bestimmungsdreiecks mit der durch die Ziellinien Betrachtungstereoskops gebildeten Ebene zusammenfällt, nicht erfüllt.

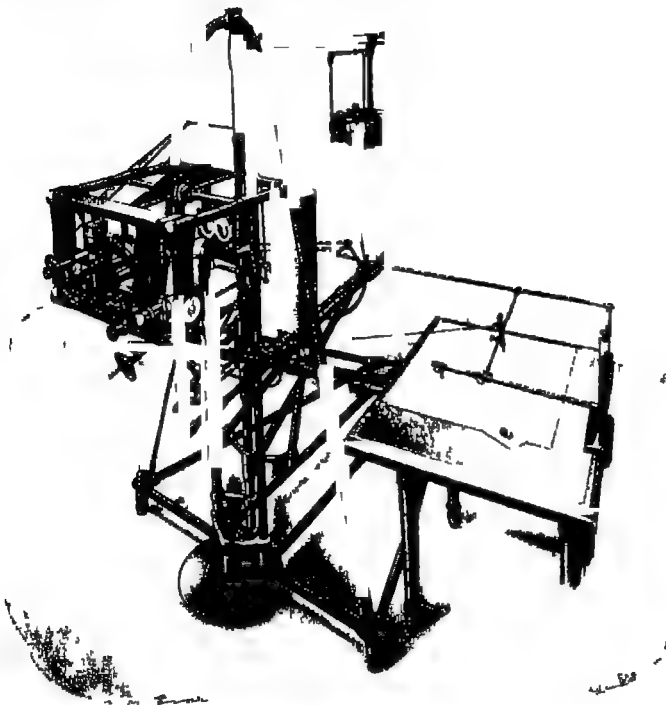


Abb 84 Stereotopometer nach J PRÉDHUMEAU

den zur Verfügung stehenden Abbildungen ist nicht ersichtlich, obwohl zur Erfüllung dieser Bedingung vorgesehen sind und worin diese Mittel bestehen.

17. Der Stereoautograph nach E. v Orel. Der Stereoautograph, dessen Ausführung 1908<sup>1</sup> von dem damaligen österreichischen Oberleutnant v OREL angegeben wurde, ist heute<sup>2</sup> im wesentlichen (vgl die schematische Abb 85) eine Verbindung des PULFRICH'schen Stereokomparators (s S 56) mit einem Höhenlineal  $L_1'$  und zwei Horizontallinealen  $L_1$  und  $L_2$ , wovon letztere

<sup>1</sup> Vgl Int Arch f Photogramm 1, 1908, S 135, ferner E v OREL, Mitt d. V. d. Verm. u. L. Inst 30, 1910, S 62.

<sup>2</sup> H LÜSCHER, ZS f I 39, 1919, S 2, 55, 83 Einzelheiten über den Gebrauch des Apparates sind angegeben in H DOCK, Photogrammetrie u Stereophotogrammetrie, Leipzig u Berlin, 1923 und H LÜSCHER, Photogrammetrie, Leipzig u Berlin 1920.

sich um zwei festgelagerte, die Aufnahmestandpunkte darstellende vertikale Achsen  $O_1$  und  $O_2$  drehen. Der Stereokomparator ist dabei so eingerichtet, daß seine beiden Bildhalter mit den Meßbildern  $B_1$  und  $B_2$  unabhängig voneinander längs der Führung  $F_H$  beliebig seitlich verschoben werden können (Abszissen-einstellung). Das Doppelmikroskop läßt sich in der zur Führung  $F_H$  senkrecht angebrachten Führung  $F_V$  verschieben (Ordinaten-einstellung). Die Horizontallineale sind mit den entsprechenden Bildhaltern durch je einen an letzteren fest angebrachten Zapfen  $Z$  gelenkig verbunden, so daß jede seitliche Verschiebung der Bildhalter eine bestimmte Drehung der entsprechenden Lineale bewirkt. Die Einrichtung ist zunächst so justiert, daß bei Einstellung der beiden Bildhauptpunkte im Doppelmikroskop die beiden Lineale parallel und senkrecht zur Grundlinie  $O_1 O_2$  stehen, entsprechend der Lage der

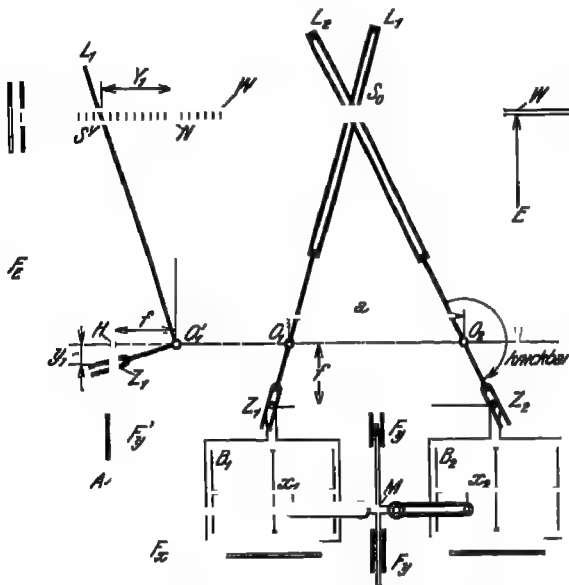


Abb 85 Konstruktionsschema des Stereokomparators  
nach C. v. ORRL

Aufnahmegerichtungen bei  
Stereogrammen.  $F_H$   
ist der Abstand der B  
längs deren sich die Z  
bewegen, von den St  
punkten  $O_1$  bzw.  $O_2$  g  
der Bildweite  $f$  der  
Aufnahmekammer. Dem  
bewirkt die Einstell  
eines Bildpunktes mit  
Abszisse  $x$  eine Dre  
des entsprechenden Li  
um einen Winkel  $\alpha$ ,  
den gilt

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{f}$$

Dieser Winkel ist (vgl. 8  
die Horizontalprojek  
des Richtungsuntersch  
zwischen Zielstrahl und  
Aufnahmegerichtung. Da let  
durch das Horizontall  
bei  $x = 0$  dargestellt  
so gibt jedes Lineal di

genüber der Grundlinie orientierte Bestimmungsrichtung, der Schnittpunkt beider Lineale also unmittelbar die Horizontalprojektion des Objektpunktes.

Wenn die rechte Aufnahmegerichtung nicht normal zur Aufnahme war, die Aufnahmegerichtungen also eine Konvergenz oder Divergenz aufwies, so kann diesem Umstand nach einem Vorschlag von K. FUCHS<sup>1</sup> leicht dadurch Rechnung getragen werden, daß man dem Horizontallineal  $L_2$  nach Einstellung der rechten Meßmarke auf den rechten Hauptpunkt im Drehpunkt  $O_2$  gegen der rückwärtigen Linealverlängerung  $O_2 Z_2$  eine entsprechende Knickung

Die Einstellung beliebiger Bildpunktpaare erfolgt zweckmäßig nicht durch Verschiebung der Bildhalter, sondern durch Verschiebung des Schnittpunktes der beiden Horizontallineale bzw. des in ihm angebrachten zu denkenden Zeigerstiftes. Die Verschiebung geschieht dabei durch eine ebene Kreuzschlittenführung, die aus der längs der Führung  $F_H$  gleitenden Querwange  $W$  und einem in letzterer angebrachten Schlitz besteht.

<sup>1</sup> K. FUCHS, Int. Arch. f. Photogramm. 3, 1912, S. 184

Die mechanische Bestimmung des Höhenunterschiedes  $Y_1$  zwischen Objektpunkt und (linkem) Standpunkt erfolgt unter Zuhilfenahme der Aufrißprojektion des Zielstrahles auf eine feste, durch die linke Aufnahmerrichtung, so winkelrecht zur Grundlinie  $O_1O_2$  gedachte Vertikalebene. Für diesen Höhenunterschied gilt (vgl. auch S 47), unter Vernachlässigung der Erdkrümmung und Refraktion,<sup>1</sup>

$$Y_1 = \frac{H}{f} y_1,$$

wo  $H$  der Abstand der Horizontalprojektion des Objektpunktes, hier also der Abstand der Querwange  $W$  von der Grundlinie ist. Die mechanische Aufstellung dieser Beziehung geschieht mittels des oben erwähnten Höhenlineals  $L'_1$ , dessen Drehpunkt  $O'_1$  in der Verlängerung der Grundlinie  $O_1O_2$  liegt und dessen rückwärtige Verlängerung um konstant  $90^\circ$  gegen das Lineal selbst geknickt ist. Das Höhenlineal ist mit dem Doppelmikroskop  $M$  durch den Zapfen  $Z'_1$  gelenkig verbunden, so daß eine Verschiebung des Mikroskops unter Vermittlung des in  $F'_1$  geführten Armes  $A$  eine bestimmte Drehung von  $L'_1$  bewirkt. Die Einrichtung ist so justiert, daß bei Einstellung des (linken) Hauptpunktes des Doppelmikroskops ( $y_1 = 0$ ) das Lineal  $L'_1$  winkelrecht zur Grundlinie bzw. zur Querwange  $W$  steht und letztere im Punkte  $N$ , dem Nullpunkt einer auf  $W$  gebrachten Skala, schneidet. Ferner ist dafür gesorgt, daß der Abstand des Armes  $A$  von der Drehachse  $O'_1$  gleich der Bildweite der Aufnahmekammer ist. Entsprechend wird also (Abb 85) nach Einstellung eines Bildpunktes mit der Ordinate  $y_1$  am Höhenlineal bei  $S'$  auf der im Abstand  $H$  von  $O'_1$  befindlichen Skala der gesuchte Höhenunterschied  $Y_1$  abgelesen, denn aus der Ähnlichkeit der Dreiecke  $O'_1HZ'_1$  und  $O'_1NS'$  folgt

$$Y_1 = \frac{H}{f} y_1$$

Bei der Höhenmeßeinrichtung wird zweckmäßig nicht das Lineal  $L'_1$  durch das Doppelmikroskop  $M$  in Tätigkeit gesetzt, sondern umgekehrt die Mikroskopverschiebung durch eine Drehung des Lineals bewirkt.

Bei der praktischen Ausföhrung des Instruments (Abb 90) erfolgt sowohl die Abstandsänderung der Querwange als auch die seitliche Verschiebung des Mikroskops durch die Antriebsmechanik, die von zwei Handrädern angetrieben werden, die die Antriebsachse für die Drehung des Höhenlineals durch eine Pleum Scheibe betätigt. Durch gleichzeitigen Gebrauch dieser Antriebsmittel ist man in der Lage, die im Doppelmikroskop gesehene Raummarke bei dauernder Berührung mit der Modelloberfläche entlang beliebigen Situationellinien zu föhren, deren Orthogonalprojektion dann vom Zeichenstift kontinuierlich aufgetragen wird. Verklebmt man das Höhenlineal mittels einer besonderen Vorrichtung mit der Querwange so, daß es unbeschadet seiner Beweglichkeit im Punkte  $S'$  stets den gleichen Abschnitt  $Y_1$  auf der Höhenskala abschneidet, wird sich bei beliebiger Verschiebung des ebenen Kreuzschlittens die Raummarke zwangsläufig in einer horizontalen Ebene bewegen, die um  $Y_1$  höher (oder tiefer) liegt als der (linke) Aufnahmestandpunkt. Bewegt man jetzt mit den beiden Handrädern die Raummarke so, daß sie dauernd in Berührung mit der Modelloberfläche bleibt, so wird der Bleistift eine Schichtlinie<sup>2</sup> aufzeichnen.

<sup>1</sup> Cr. ASCHENBRENNER, ZS f. I. 45, 1925, S. 203.

<sup>2</sup> Diese automatisch erhaltenen Schichtlinien unterscheiden sich von den durch Interpolation gewonnenen meist übermäßig schematisierten Schichtlinien durch ihren dahin ungewohnten Reichtum an Feinheiten, der — allerdings für kleinmaßstäbliche Karten — eine nachträgliche Glättung erforderlich macht. Vgl. hierzu E. v. ORIEL, K. K. Militärg. Inst. Wien 31, 1911 und K. KORZER, ebenda 33, 1914.

sich um zwei festgelagerte, die Aufnahmestandpunkte darstellende vert. Achsen  $O_1$  und  $O_2$  drehen. Der Stereokomparator ist dabei so eingerichtet, daß seine beiden Bildhalter mit den Meßbildern  $B_1$  und  $B_2$  unabhängig voneinander längs der Führung  $F_x$  beliebig seitlich verschoben werden können (Abszisseneinstellung). Das Doppelmikroskop läßt sich in der zur Führung  $F_x$  senkrecht angebrachten Führung  $F_z$  verschieben (Ordinateneinstellung). Die Horizontallineale sind mit den entsprechenden Bildhaltern durch je ein an letzteren fest angebrachten Zapfen  $Z$  gelenkig verbunden, so daß jede Längsverschiebung der Bildhalter eine bestimmte Drehung der entsprechenden Lineale bewirkt. Die Einrichtung ist zunächst so justiert, daß bei Einstecken der beiden Bildhauptpunkte im Doppelmikroskop die beiden Lineale parallel und senkrecht zur Grundlinie  $O_1 O_2$  stehen, entsprechend der Lage der

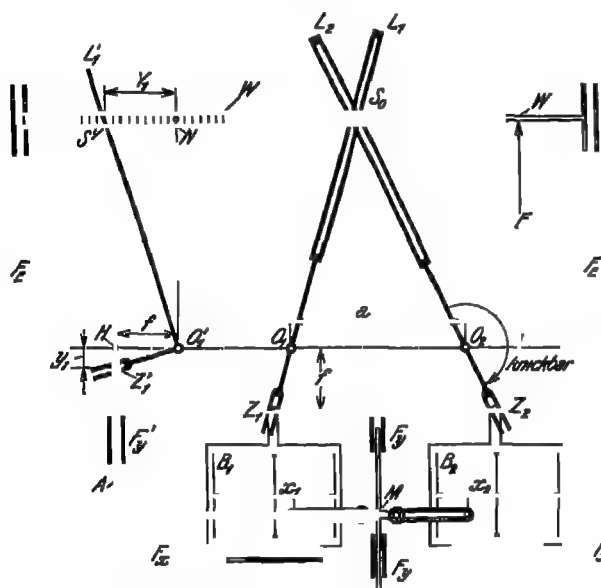


Abb 85 Konstruktionsschema des Stereokomparators nach E. v. ORIEL

Aufnahmegerichtungen bei Stereostereogrammen  $F$  ist der Abstand der Lineale  $L_1$  und  $L_2$  längs deren sich die Zapfen  $Z_1$  und  $Z_2$  bewegen, von den Standpunkten  $O_1$  bzw.  $O_2$  bis zur Bildweite  $f$  der Aufnahmekammer. Der Winkel  $\alpha$  bewirkt die Einsteckung eines Bildpunktes mit der Abszisse  $x$  eine Drehung des entsprechenden Lineals um einen Winkel  $\alpha$  den gilt

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{f}$$

Dieser Winkel ist (vgl. Abb. 85) die Horizontalprojektion des Richtungsunterschiedes zwischen Zielstrahl und Aufnahmegerichtung. Da bei  $x=0$  dargestellt ist, so gibt jedes Lineal die

gegenüber der Grundlinie orientierte Bestimmungsrichtung, der Schnittpunkt beider Lineale also unmittelbar die Horizontalprojektion des Objektpunktes.

Wenn die rechte Aufnahmegerichtung nicht normal zur Aufnahme war, die Aufnahmegerichtungen also eine Konvergenz oder Divergenz aufwiesen, so kann diesem Umstand nach einem Vorschlag von K. FUCHS<sup>1</sup> leicht durch Rechnung getraffen werden, daß man dem Horizontallineal  $L_2$  nach Einstecken der rechten Meßmarke auf den rechten Hauptpunkt im Drehpunkt  $O_2$  gegenüber der rückwärtigen Linealverlängerung  $O_2 Z_2$  eine entsprechende Knickung

Die Einstellung beliebiger Bildpunktpaare erfolgt zweckmäßig nicht durch Verschiebung der Bildhalter, sondern durch Verschiebung des Schnittpunktes der beiden Horizontallineale bzw. des in ihm angebrachten zu denkenden Zeigerstiftes. Die Verschiebung geschieht dabei durch eine ebene Kreuzschlitteneinführung, die aus der längs der Führung  $F_x$  gleitenden Querwange  $W$  und einem in letzterer angebrachten Schlitz besteht.

<sup>1</sup> K. FUCHS, Int. Arch. f. Photogramm. 3, 1912, S. 184

Die mechanische Bestimmung des Höhenunterschiedes  $Y_1$  zwischen Objektpunkt und (linkem) Standpunkt erfolgt unter Zuhilfenahme der Aufwärtprojektion des Zielstrahles auf eine feste, durch die linke Aufnahme-richtung, also winkelrecht zur Grundlinie  $O_1O_2$  gedachte Vertikalebene. Für diesen Höhenunterschied gilt (vgl. auch S. 47), unter Vernachlässigung der Erdkrümmung und Refraktion,<sup>1</sup>

$$Y_1 = \frac{B}{f} y_1,$$

worn  $B$  der Abstand der Horizontalprojektion des Objektpunktes, hier also der Abstand der Querwange  $W$  von der Grundlinie ist. Die mechanische Aufassung dieser Beziehung geschieht mittels des oben erwähnten Höhenlineals  $L'_1$ , dessen Drehpunkt  $O'_1$  in der Verlängerung der Grundlinie  $O_1O_2$  liegt und dessen aufwärtige Verlängerung um konstant  $90^\circ$  gegen das Lineal selbst geknickelt ist. Das Höhenlineal ist mit dem Doppelmikroskop  $M$  durch den Zapfen  $Z'_1$  gelenkig verbunden, so daß eine Verschiebung des Mikroskops unter Vermittlung des in  $F'_1$  geführten Armes  $A$  eine bestimmte Drehung von  $L'_1$  bewirkt. Die Einrichtung ist so justiert, daß bei Einstellung des (linken) Hauptpunktes des Doppelmikroskops ( $y_1 = 0$ ) das Lineal  $L'_1$  winkelrecht zur Grundlinie bzw. zur Querwange  $W$  steht und letztere im Punkte  $N$ , dem Nullpunkt einer auf  $W$  angebrachten Skala, schneidet. Ferner ist dafür gesorgt, daß der Abstand des Armes  $A$  von der Drehachse  $O'_1$  gleich der Bildweite der Aufnahmekammer ist. Entsprechend wird also (Abb. 85) nach Einstellung eines Bildpunktes mit der Ordinate  $y_1$  am Höhenlineal bei  $S'$  auf der im Abstand  $B$  von  $O'_1$  befindlichen Skala der gesuchte Höhenunterschied  $Y_1$  abgelesen, denn aus der Ähnlichkeit der Dreiecke  $O'_1HZ'_1$  und  $O'_1NS'$  folgt

$$Y_1 = \frac{B}{f} y_1$$

auch bei der Höhenmeßeinrichtung wird zweckmäßig nicht das Lineal  $L'_1$  durch das Doppelmikroskop  $M$  in Tätigkeit gesetzt, sondern umgekehrt die Mikroskopverschiebung durch eine Drehung des Lineals bewirkt.

Bei der praktischen Ausführung des Instruments (Abb. 90) erfolgt sowohl die Abstandsänderung der Querwange als auch die seitliche Verschiebung des Bleistiftes in dieser durch Spindeln, die von zwei Handrädern angetrieben werden, die Antriebsspindel für die Drehung des Höhenlineals wird durch eine Nockenmechanik betätigt. Durch gleichzeitigen Gebrauch dieser Antriebsmittel ist man in der Lage, die im Doppelmikroskop gesehene Raummarke bei dauernder Berührung mit der Modelloberfläche entlang beliebigen Situationshorizonten zu führen, deren Orthogonalprojektion dann vom Zeichenstift kontinuierlich aufgetragen wird. Verklebt man das Höhenlineal mittels einer besonderen Vorrichtung mit der Querwange so, daß es unbeschadet seiner Beweglichkeit im Punkte  $S'$  stets den gleichen Abschnitt  $Y_1$  auf der Höhenskala abschneidet, wird sich bei beliebiger Verschiebung des ebenen Kreuzschlittens die Raummarke zwangsläufig in einer horizontalen Ebene bewegen, die um  $Y_1$  höher (oder tiefer) liegt als der (linke) Aufnahme-standpunkt. Bewegt man jetzt mit den beiden Handrädern die Raummarke so, daß sie dauernd in Berührung mit der Modelloberfläche bleibt, so wird der Bleistift eine Schichtlinie<sup>2</sup> aufzeichnen.

<sup>1</sup> Cf. ASCHENBRENNER, ZS f. I. 45, 1925, S. 203.

<sup>2</sup> Diese automatisch erhaltenen Schichtlinien unterscheiden sich von den durch Interpolation gewonnenen meist übermäßig schematisierten Schichtlinien durch ihren ungewohnten Reichtum an Feinheiten, der — allerdings für kleinstufige Höhenarten — eine nachträgliche Glättung erforderlich macht. Vgl. hierzu E. v. ORTEL, K. Militärgeogr. Inst. Wien 31, 1911 und K. KORZER, ebenda 33, 1914.



Bei einem Höhenunterschied der Standorte treten die früher (S 58) besprochenen störenden Vertikalparallaxen auf, sie müssen bei dem vorliegenden Instrument durch entsprechende, fortlaufend von Hand auszuführende Verschiebungen des rechten Meßbildes in der  $y$ -Richtung (vgl. Abb 76, S 58) beseitigt werden.

Der Maßstab einer Kartierung mit einer Apparatur gemäß der obigen schematischen Zeichnung ergibt sich aus dem Verhältnis des Abstandes  $a$  der Drehachse  $O_1$  von der Drehachse  $O_2$  zur Horizontalprojektion  $B_0$  der Aufnahmebasis. Um einen bestimmten vorgeschriebenen Maßstab des Bestimmungsdreiecks  $O_1 O_2 S_0$  zu erzielen, wäre, was allerdings aus konstruktiven Gründen praktisch nicht möglich ist, beispielsweise (vgl. Abb 86) das Lineal  $L_2$  parallel mit sich selbst in die Lage  $L'_2$  zu verschieben, so daß der Abstand der beiden Linealdrehachsen  $O_1 O_2$  gleich der Horizontalprojektion  $B_0$  der Aufnahmebasis im vorgeschriebenen Maßstab wurde. Dabei käme die Querwange  $W$  in die durch den neuen Linealschnittpunkt  $S'_0$  gehende Lage  $W'$ , die vom Lineal im Punkte  $S''_0$  geschnitten wird. Denkt man sich jetzt durch den tatsächlichen Linealdrehpunkt  $O_2$  eine Parallele  $L_1$  zum Lineal  $L_2$  gezogen, so ergibt der

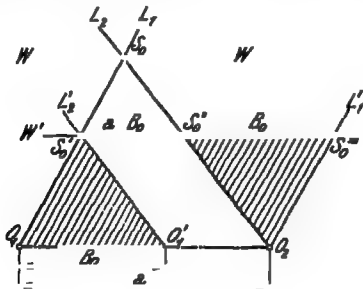


Abb 86 Das Fuchssche Parallelogramm

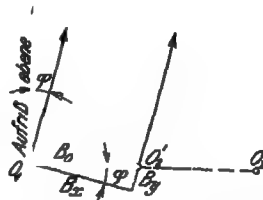


Abb 87 Rechts verschwankte Aufnahmen, natürliche Lage

Schnittpunkt  $S''_0$  mit der Querwange  $W$  ein Parallelogramm (Parallelogramm von FUCHS<sup>1</sup>), an dem sich zeigt, daß

$$S'_0 S''_0 = a - B_0$$

sein muß, wenn die Kartierung mit der maßstäblich vorgeschriebenen Basis  $B_0$  erfolgen soll.

Man hat also jedem Lineal eine gesonderte Führung  $S'_0$  bzw.  $S''_0$  zu geben, beide Führungen sitzen auf einem langs der Querwange gleitenden Verbindungsglied (Basischlitten) von regulierbarer, dem Kartierungsmaßstab entsprechende einzustellender Länge. Ist diese Länge gleich dem Abstand  $a$  der Linealdrehachsen, so sind beide Lineale einander parallel und die Basis ist Null (Angriffspunkt des Lineals  $L_2$  im „Basisnullpunkt“  $S_0'''$ ). Da sich der Basischlitten während der Zeichnung stets parallel zu sich selbst verschiebt, so genügt wenn der Bleistift an irgendeiner Stelle starr mit diesem Schlitten verbunden ist.

Mit der Einführung des FUCHSSCHEN Basischlittens ergibt sich nun auch eine besonders vorteilhafte, ebenfalls von FUCHS<sup>2</sup> angegebene Möglichkeit z

<sup>1</sup> K. FUCHS, Int. Arch. f. Photogram. 3, 1912, S. 184. Die Einrichtung wird häufig fälschlich als „Parallelogramm von BAUERSFELD-PFEIFFER“ bezeichnet.

<sup>2</sup> Da der Zeichenstift also gleichsam mit der Basis  $S'_0 S''_0$  verbunden ist, durch deren ebene Parallelverschiebung die Kartierung vor sich geht, so kann man letztere auch als eine „Rückwärtsverschiebung mit orientierten Richtungen“ auffassen.

<sup>3</sup> K. FUCHS, Int. Arch. f. Photogram. 3, 1912, S. 184.

sarbeitung von verschwenkten Aufnahmen Ein z B rechts verschwenktes  
fnahmepaar hätte die in Abb 87 dargestellte Lage zur Grundlinie  $O_1O_2$   
r Bedingung, daß die linke Aufnahmerichtung winkelrecht zur Apparate-  
ndlinie  $O_1O_2$  stehen muß, kann man dadurch genügen, daß man die Auf-

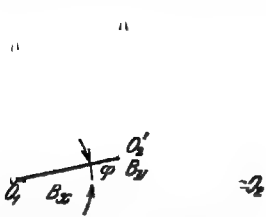


Abb 88 Rechts verschwenkte Aufnahme Lage im Auswertgerät

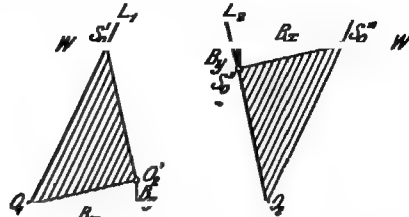


Abb 89 Basisausrückung bei verschwenkten Aufnahmen nach K. FUCHS

mebasis  $O_1O'_2$  um  $O_1$  schwenkt, und zwar um den Winkel  $\varphi$ . Damit kommen  
h 88) die Aufnahmerichtungen in die vorgeschriebene winkelrechte Lage zur  
parategrundlinie  $O_1O_2$ . Zur Erzielung dieser Verschwenkung ist es nicht not-  
ndig, den Linealdrehpunkt  $O_2$  selbst zu verlagern, was übrigens aus kon-

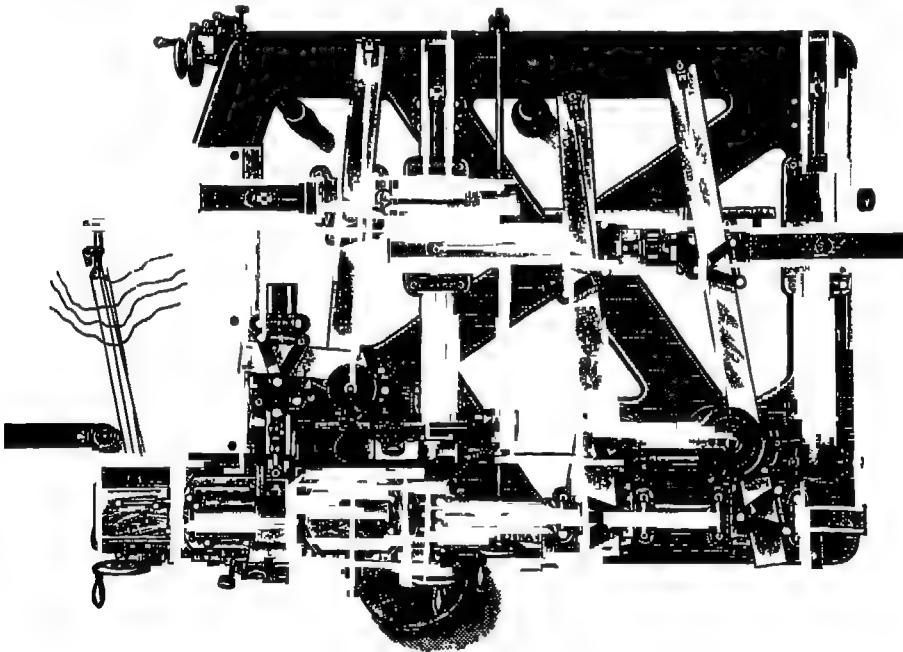


Abb 90 Stereoaograph nach E v OREL (Draufsicht)

aktiven Gründen hier undurchführbar ware, es genügt vielmehr, entsprechend  
Abb 89, den Angriffspunkt  $S''_0$  am Basisschlitten in eine solche Lage zu  
ngen, daß die einzustellenden „Basiskomponenten“  $B_x$  (Basisstamm) und  $B_y$   
sisausrückung) als Katheten den Bedingungen genügen

$$B_x = B_0 \cos \varphi \quad B_y = B_0 \sin \varphi$$

se Vorrichtung zur Ausarbeitung von parallel vorschwenkten Aufnahmen  
ibt in Verbindung mit der Knickbarkeit des rechten Lineals die Möglichkeit

zur Ausarbeitung von beliebig gerichteten Aufnahmen, sofern nur die Aufnahmeachsen horizontal waren.<sup>1</sup> Zu dem Zwecke ist die Basis entsprechend dem Verschwenkungswinkel der linken Aufnahme einzustellen, so daß die linke Aufnahme richtungswinkelrecht zur Apparatebasis  $O_1O_2$  wird, während das rechte Lineal um den Konvergenz- oder Divergenzwinkel beider Aufnahmen knicken ist.

Abb 90 zeigt den von C. ZEISS in Jena gebauten Stereoaufnahmegerät der Draufsicht. In Abb 91 ist ein Teil des überhaupt ersten in kontinuierlich-automatisch gezeichneten Schichtenplanes dargestellt, der mit dem von OREL schon 1909 im Militär-Geographischen Institut in Wien gezeichnet wurde. In Abb 92 ist das Teilbild eines Stereogrammes wieder-

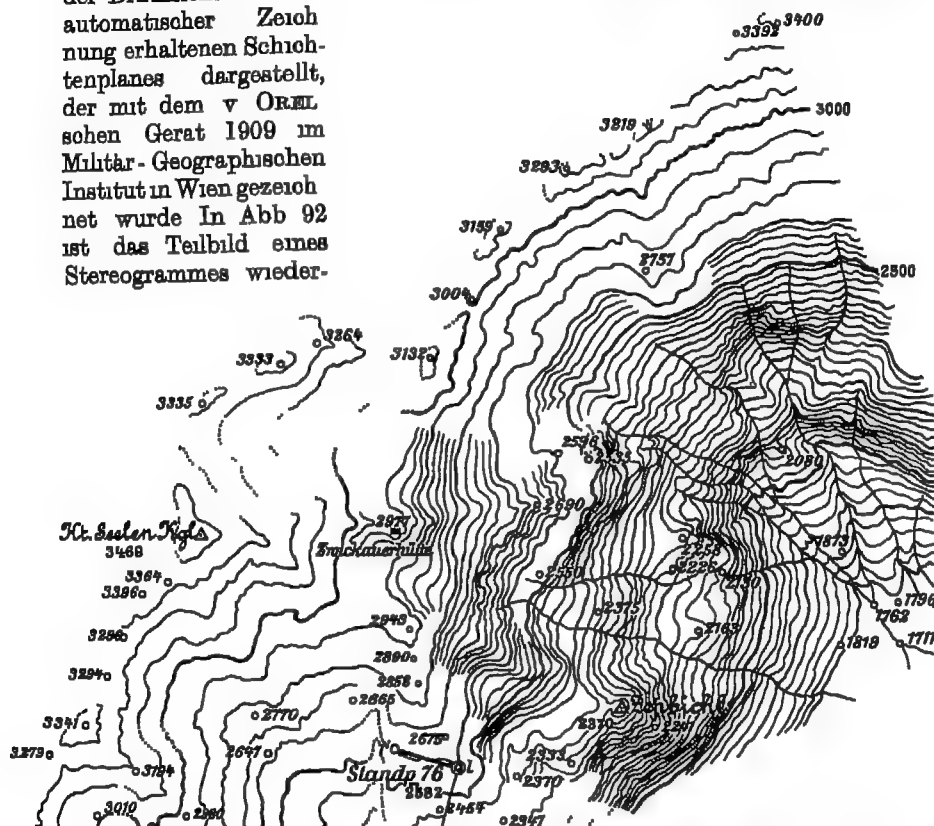


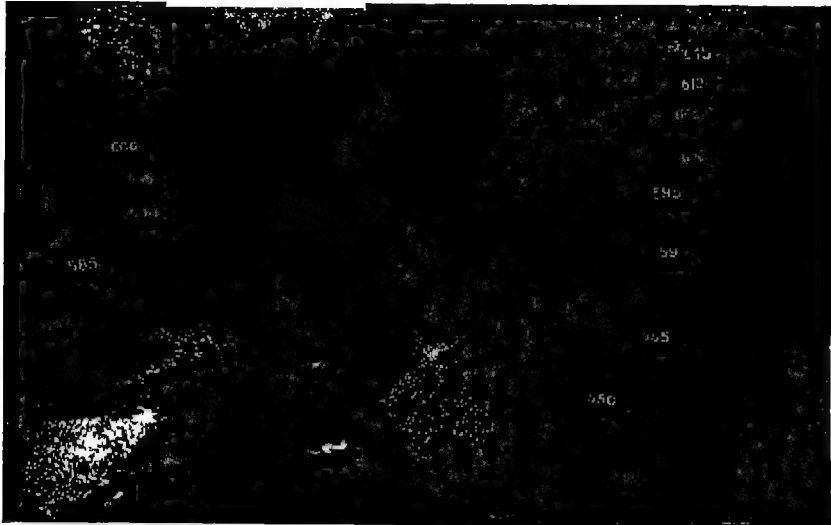
Abb 91 Ausschnitt aus dem ersten kontinuierlich-automatisch gezeichneten Schichtenplan

gegeben, die darin sichtbaren Linien sind die Perspektiven der automatisch gezeichneten Schichtlinien. Diese Linien entsprechen dem Wege der lin. Einstellmarke im linken Meßbild und werden dementsprechend durch ei-

<sup>1</sup> Falls das Gerät mit einem Koordinatographen (vgl. S. 74 u. S. 91) oder einer ähnlichen Einrichtung (zylindrische Zeichenfläche am Autokartographen S. 86ff.) verbunden wird, können mit ihm auch solche Aufnahmepaare kontinuierlich ausgewertet werden, deren Aufnahmeachsen einer vertikalen Ebene angehören. Weitere Zusatzeinrichtungen, durch welche die kontinuierliche Ausarbeitung ungefähr senkrechten Aufnahmen ermöglicht wird, wurden 1919 von E. WOLF angegeben und praktisch durchgeführt. Vgl. auch W. SANDER, ZS f. I. 42, 1922, 1.

<sup>2</sup> Ein für Unterrichtszwecke sehr geeignetes Modell dieses Gerätes wird von PHOTOGRAMMETRIE G. m. b. H. in München gebaut.

n Doppelmikroskop befestigten Zeichenstift auf einem seitlich vom Bildhalter  
s linken Meßbildes angebrachten Papierabzug der Aufnahme (vgl. Abb. 90)  
lbsttätig aufgezeichnet



92 Teilbild eines Stereogramms mit automatisch gewonnenen perspektiven Schichtenlinien  
(Aufnahme der PHOTOGRAMMETRIE G m b H., München)

18. Der Autograph nach Wild. Die im  
ORRISCHEN Stereoautographen angewandte  
thode der indirekten Richtungsgewinnung  
roh mechanische Auflösung der zwischen  
jektstrahl und Bildpunktkoordinaten be-  
henden Beziehungen (vgl. S. 41) ist prak-  
h nur für die einfachste Form dieser Be-  
hungen anwendbar, nämlich für den Sonder-  
l, daß der Neigungswinkel der Aufnahmen  
gen die Horizontale (bzw. die Grundebene  
Instrumentes) Null ist.<sup>1</sup> Es liegt deshalb  
Gedanke nahe, die Kartierungseinrichtung  
ht an einen Doppelkomparator, sondern an  
Paar der gebräuchlichen Bildmeßtheodolite  
zuschließen, die, wie auf S. 44 dargestellt  
rde, die Richtungswinkel den Meßbildern  
jeder beliebigen Neigung derselben un-  
stetig entnehmbar lassen.<sup>2</sup>

Verwirklicht wurde dieser Gedanke erst-  
lg 1919 im Autokartographen nach R. HU-  
ASHOFF (vgl. S. 86), der seiner Konstruk-  
n die Normalform eines KOPPEschen Bild-  
theodoliten zugrunde legte, in dem das Meßbild während der Winkel-  
nahme seine Orientierung zum Horizont beibehält.

Im Gegensatz hierzu wählte der Schweizer Ingenieur H. WILD für seinen

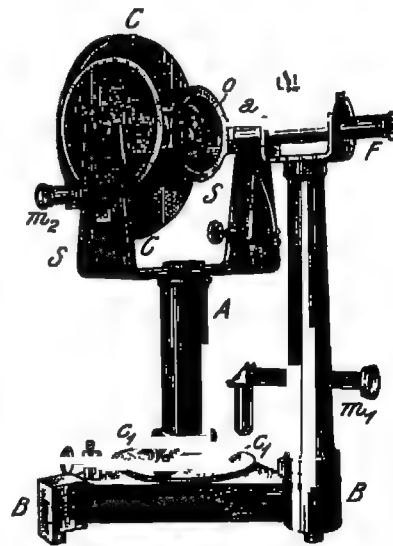


Abb. 93 Bildmeßtheodolit nach PORRO

<sup>1</sup> Man vergleiche hierzu W. SANDER, ZS. f. I. 41, 1921, S. 1, 33, 65

<sup>2</sup> P. SAMEL, Centralztg. f. Opt. u. Mech. 47, 1926, S. 138, 152, 166, 184

1926 erstmalig gezeigten Autographen<sup>1</sup> die in Abb 93 dargestellte, von P 1871 angegebene Konstruktion eines Bildmeßtheodolits, die aber den V der unmittelbaren Richtungsentnahme nicht bietet. Bei dem PORROS Instrument ist nämlich das zur Bildpunkteinstellung dienende Fernrohr während der Messung fest gelagert,<sup>2</sup> dementsprechend muß die Einstellung, Bildpunkte durch Drehung des Plattenhalters  $C$  um seine horizontale Achse und seine vertikale Achse  $A$  vorgenommen werden. Bei dieser Art der Punkt-einstellung wird die Orientierung des aus dem Objektiv  $O$  austretenden Strahlbüschels gegen den Horizont zerstört, so daß die an den Kreisen  $c_1$  bzw. gemachten Ablesungen mit Richtungsfehlern behaftet sind. Die Ablesungen ergeben nur die jeweilige Neigung und Richtung der optischen Achse des Bildträgers, wären diese Richtungswerte identisch mit den Richtungswinkeln des gerade eingestellten Bildstrahles, so würde (Abb 94) ein am Bildträger  $C$  parallel zu dessen optischer Achse angebrachter Hebel  $L$  („raum-“ „Lenker“) den Objektstrahl unmittelbar verkörpern. Bei Benutzung von in der richtigen Orientierung zueinander und zum Horizont aufgestellten artigen Bildmeßtheodoliten wurde also der Schnittpunkt der beiden Raumlenker den Objektpunkt selbst darstellen. Wegen der Korrektur der Richtungs- siehe S 75

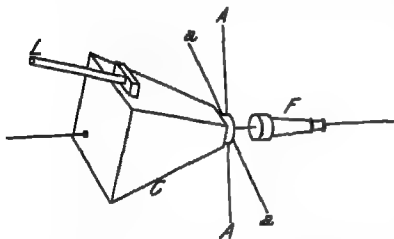


Abb 94 Bildträger nach Porro mit Raumlenker

Auf Grund dieser Überlegung konstruierte WILD seinen Autographen, der schematisch in Abb 95 wiedergegeben ist. Die Bildträger  $C_1$  bzw.  $C_2$  sind hier aus konstruktiven Gründen um konstant  $90^\circ$  gegen ihre ursprüngliche Richtung geneigt, so daß bei horizontaler Aufnahmerichtung die Meßbilder waagrecht liegen. Dementsprechend ist zwischen den Objektiven jedes Bildträgers und des

entsprechenden Fernrohrs je ein Spiegelprisma  $P_1$  bzw.  $P_2$  angeordnet, die austretenden Strahlen wieder in die ursprüngliche Richtung zurückführen.

Die Bildträger können, wie bei dem Porroschen Instrument, um je eine horizontale Achse gekippt und um eine Stehachse gedreht werden. Dabei wird die Bildpunkteinstellung in der  $y$ -Richtung durch die Kippung, die Einstellung in der  $x$ -Richtung durch die Drehung der Bildträger bewirkt, an dieser Drehung müssen natürlich die Prismen  $P_1$  und  $P_2$  teilnehmen. Die Beobachtung erfolgt mit Hilfe des in Abb 95 durch die Prismen  $p_1'$ ,  $p_1''$  und das Okular  $Ok_1$  durch die Prismen  $p_2'$ ,  $p_2''$  und das Okular  $Ok_2$  gekennzeichneten Doppelfernrohrs, das fest auf dem Kippträger  $K$  befestigt ist. Das letztere ist bei paralleler Aufnahmerichtung (geneigten Normalstereogrammen) um den gemeinsamen Neigungswinkel zu kippen. Unter Verzicht auf die Möglichkeit zur Messung der Horizontalrichtung der Bildträger hat WILD aus konstruktiven Gründen die Stehachsen der Bildträger ebenfalls in feste Verbindung mit dem Kippträger gebracht, so daß diese Stehachsen und die auf ihnen befestigten Ablenkprismen  $P_1$  und  $P_2$  an der Fernrohrkipfung teilnehmen. Diese Kippung

<sup>1</sup> H. HÄRNY, Referatensammlung, Brugg (Schweiz) 1926, E. BLERCH, Schweiz. ZS. f. Verm. u. Kulturtechn. 27, 1929, S. 49, E. BAESCHLIN, ebenda, S. 110, 123, HAERPFER A., ebenda, S. 179, E. BERCHTOLD, Bildmess. u. Luftbildwes. 4, 1929, S. 97.

<sup>2</sup> Das Fernrohr muß dabei vor Beginn der Messung entsprechend dem Neigungswinkel der Aufnahme gekippt werden, das Originalinstrument PORROS war in Abb 93 zeigt, nur für waagrechte Aufnahmen brauchbar.



durch die Lenkerbuchsen  $b_1$  und  $b_2$  gleit- und drehbar in Verbindung stehen. Die Einstellung eines vorgeschriebenen Kartierungsmaßstabes geschieht in ähnlicher Weise wie am v. ORNSTEINSchen Stereoautograph (vgl. Abb. 86). Die auf der Basisbrücke  $B$  verschiebbaren Lenkerbuchsen  $b$  sind so einzustellen, daß die Differenz ihres Abstandes gegen den festen Abstand der Objektmitten der Bildträger gleich der vorgeschriebenen Basis wird. Da die Schnittpunkte der Drehachse der Lenkerbuchsen die Standpunkte verkörpern (vgl. S. 68 Anm. 2), läßt sich bei einem Höhenunterschied derselben durch entsprechende vertikale Verschiebung der Lenkerbuchse  $b_1$  berücksichtigen, so daß Vertikalparallaxen nicht auftreten.

Die Wirkungsweise des Gerätes ist ähnlich wie die des Stereoautographen. Die im Doppelfernrohr gesehene Raummarke läßt sich durch gleichzeitige Be-

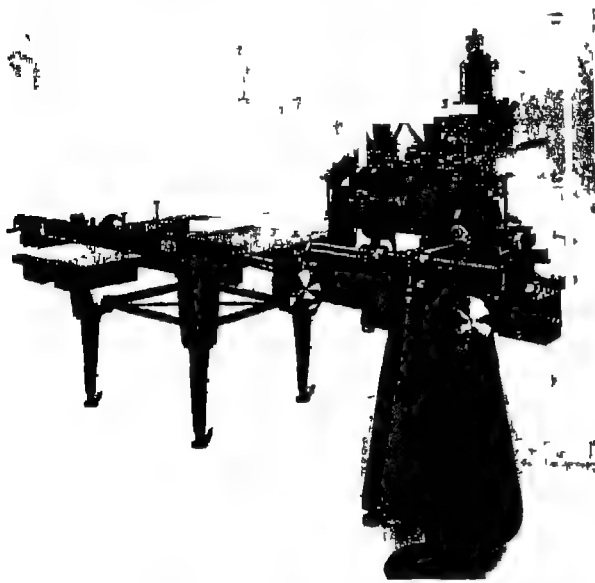


Abb. 86 Autograph nach H. WILD

tätigung aller drei Einstellvorrichtungen an beliebigen Situationsnahmen des Raummodells entlarfen, für die Schichtenzeichnung ist bei waagrechten und Schrägaufnahmen die Raummarke durch ausschließliche Benutzung der beiden Handräder in dauernder Berührung mit der Modelloberfläche zu halten. Senkrechtaufnahmen werden genau so in das Gerüst gelegt wie Aufnahmen mit horizontalen Achsen. Infolgedessen erscheint das Objektmodell um  $90^\circ$  gekippt, also in vertikaler Lage. Dementsprechend erfolgt die Situationszeichnung durch Vertiefung des X- und

Z-Schlittens, während die Höhenmessungen mit Hilfe des E-Schlittens vorgenommen werden.

Die Orthogonalprojektion des jeweiligen (ideellen) Schnittpunktes der beiden Raumlenker wird hier nicht durch einen unmittelbar am Basiskörper angebrachten Bleistift aufgezeichnet, die Kartierung erfolgt vielmehr auf einem seitlich vom Meßgerät aufgestellten besonderen Zeichentisch (Koordinatographen), dessen Zeichentisch durch einen ebenen Kreuzschlitten angetrieben, dessen Antriebsspindeln bei wagerechten und schrägen Aufnahmen mit den Antriebsspindeln des E- bzw. X-Schlittens, bei Senkrecht- und Steilaufnahmen aber mit den Antriebsspindeln des Z- bzw. X-Schlittens zu kuppeln sind.

Die oben gemachte Annahme, daß die Lage des mit dem Bildträger verbundenen räumlichen Lenkers der Lage des entsprechenden Objekt- bzw. Bildstrahles entspreche, ist, wie einleitend ausgeführt wurde, nicht richtig. Infolgedessen wird der im Betrachtungsfernrohr gesehene Bildpunkt nicht in der Ebene der Achsen und einer Höhendifferenz der Standpunkte. Man vergleiche hierzu die wesentlich einfachere Konstruktion der Universal Ausmeßgeräte. Wegen der Nachteile der Exzentrizität auch dieser Drehung vgl. oben S. 73, Fußnote 1.

ungen Bildpunkt übereinstimmen, dessen Bildstrahl der Raumlage des zugehörigen Lenkers entspricht. Es läßt sich nun zeigen,<sup>1</sup> daß der fehlerhaft eintellte Bildpunkt und der richtige Bildpunkt auf einem Kreis liegen, dessen Mittelpunkt der Hauptpunkt der Aufnahme ist. Um diesen richtigen Bildpunkt die Zielmarken des Beobachtungsfernrohres zu bringen, ist dem Bildträger eine bestimmte Drehung um seine optische Achse zu erteilen. Der erforderliche Drehungswinkel  $\varrho$  ist abhängig von der Lage des Bildpunktes, und es gilt nach BAESCHLIN<sup>1</sup>

$$\operatorname{tg} \varrho = \frac{\sin \alpha \sin \beta}{\cos \alpha + \cos \beta}$$

man ist — mit  $x$  und  $y$  als Bildpunktkoordinaten —

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{f}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{y}{f} \cos \alpha$$

Ermöglichung dieser Sonderdrehung des Bildträgers hat WILD, unter wesentlicher Komplikation seines Gerates, den Raumlener nicht unmittelbar mit dem Bildträger, sondern (Abb 95) mit einem Ring  $R$  verbunden, innerhalb dessen Bildträger unabhängig von seiner Kippachse gedreht werden kann. Die Sonderdrehung erfolgt zwangsläufig mittels eines Korrektionshebels  $H$ , dessen freies Ende in der besonders gestalteten Führungsnut  $N$  gleitet, die durch die von der Stehachse des Bildträgers betätigte Parallelogrammführung  $F$  parallel mit sich selbst verdreht wird und dadurch bei gewissen Lagen des Raumlenkers dem Bildträger die zusätzliche Drehung  $\varrho$  „mit aller wünschbaren Genauigkeit“<sup>2</sup> erteilt.

Das optische System zur Bildbetrachtung im WILDschen Instrument, das im Übergang von den Spezialinstrumenten zu den auf S 86ff beschriebenen Universalgeräten darstellt, zeigt vor allem wegen der hier gewählten PORROschen Linseneinstellung im ruhenden Fernrohr einen sehr einfachen Aufbau, ein Vorzug, aber selbstverständlich die durch diese Einfachheit bedingten Nachteile<sup>3</sup> mit aufhebt.

**19. Das Zonenverfahren nach Scheimpflug.** Konstruktion von Brock & Plymouth. Denkt man sich ein räumliches Objekt — der Einfachheit halber ein geraden Kreiskegel mit vertikaler Achse — auf zwei Maßbildern  $B_1$  und  $B_2$  in vertikaler Aufnahmerichtung und aus gleicher Höhe abgebildet (vertikales Malstereogramm), so erkennt man zunächst an Hand der Abb 97, daß die Linien der Schichtlinien diesen ähnliche Figuren — im schematischen Beispiel 3 Kreise — sind. Da ferner alle Objektpunkte auf derselben Schichtlinie den gleichen Abstand  $E$  von der Horizontalebene durch die Aufnahmebasis  $O_1 O_2$  haben, kommt identischen Punkten derselben Schichtlinie die gleiche Parallaxe zu.

<sup>1</sup> Vgl S 73, Anm 1

<sup>2</sup> Nach H. HARRI, vgl S 72, Anm 1. Infolge dieser Korrektioneinrichtung ist ihrer nicht ganz einfachen mathematischen Grundlage fehlt der WILDschen Konstruktion die unmittelbare Anschaulichkeit der Wirkungsweise, die alle übrigen Meßgeräte auszeichnet.

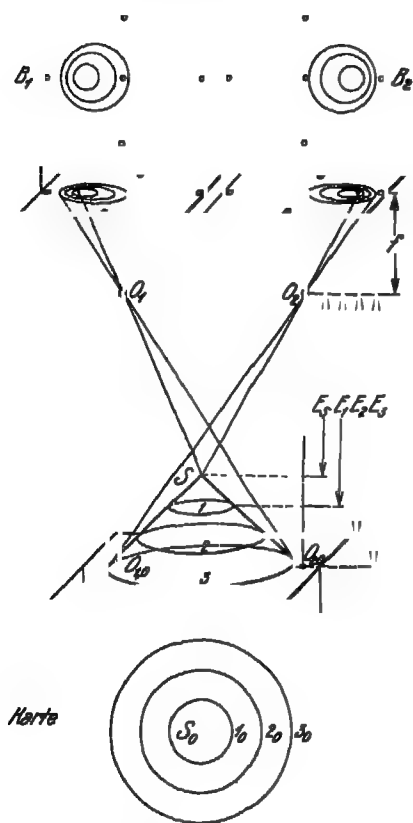
<sup>3</sup> Z. B. optisch bedingte Beschränkung des Anwendungsbereiches (S 73), mangelnde Bildrotation entsprechend der Neigung der Kernebenen (S 39 u S 58), ungelungene Anpassung an Größendifferenzen der Bilder z. B. bei Flughöhenunterschieden (S 184ff), mangelnde Anpassung an die Höhendifferenz der Augen des Beobachters (S 57) und veränderliche Lage des Doppelokulars.



Legt man ein derartiges Normalstereogramm in den Stereokomparator und sucht bei unveränderter Stellung der Parallaxenschraube durch entsprechende gemeinsame Verschiebung beider Bilder zum Doppelmikroskop solche Punkte auf, in denen die Raummarke des Objektmodells berührt, so liegen diese Punkte, worauf auch PULFRICH<sup>1</sup> hinwies, auf einer Schichtlinie, und die Verbindungslinien der entsprechenden Bildpunkte ergeben die Perspektiven dieser Schichtlinie, die durch einen am Doppelmikroskop in geeigneter Weise angebrachten

Zeichenstift unmittelbar in einem Meßbild selbst oder auf einer seitlich am Abszissenschlitten des Stereokomparators angebrachten Kopie sichtbar gemacht werden können.

Daß die Gesamtheit der auf diesem Wege erhaltenen Schichtlinien einer Schichtlinienkarte, d. h. einer Orthogonalprojektion der Schichtlinienfolge, nicht entspricht, ist ohne weiteres klar: die Schichtlinien und die zwischen ihnen liegenden Ob-



Aufnahmevorgangs erzielt werden. Man denkt sich hierzu im Meßbild  $B_1$  die adwie gekennzeichnete Zone zwischen Kegelspitze  $S$  und Schicht 1 auf eine  $ae$  im Abstand  $(E_0 + E_1)$  2 projiziert. Dann wird die Zone zwischen  $oht$  1 und 2 auf die gleiche Ebene projiziert, nachdem deren Abstand auf  $+ E_2)$  2 vergrößert wurde, wobei aber die Verschiebung so erfolgen muß, daß stets der Fußpunkt des von  $O_1$  auf die Projektionsebene gefällten Lotes bleibt. Da die Orthogonalprojektion auf photographischem Wege erhalten werden so ist das zu projizierende Meßbild auf der Rückseite mit einer leicht ent-  
 zaren Farbschicht zu überdecken, aus der jeweils nur die gerade zu pro-  
 zierende Zone ausgespart wird. Abb 98 zeigt schematisch die Entwicklung  
 • Karte nach diesem Verfahren.

Für die Projektion, und zwar auf einen vorgeschriebenen Maßstab, benutzte  
 SMPFLUG sein auf S 20 erwähntes, mit selbsttätiger Scharfeinstellung ver-  
 nes Umbildegerät.

Das geschilderte Verfahren, das, wie oben gezeigt wurde, Parallelität der  
 in Bildebenen zur Projektionsebene und Abstandsgleichheit von dieser vor-  
 stzt, wird praktisch erst dadurch für die Luftbildmessung brauchbar, daß  
 die Aufnahmen zuvor auf photographischem Wege in Perspektiven von der  
 eschriebenen Art umbildet (vgl. S 17). Der Gedanke einer solchen Um-  
 ing ist zwar schon 1903 von FOURCADE<sup>1</sup> ausge-  
 hen worden, praktisch verwirklichen konnte ihn  
 erst SCHEIMPFLUG mit Hilfe seines 1906 ange-  
 nen Perspektographen.

Großere Arbeiten wurden nach diesem Verfahren  
 t ausgeführt, seine Umständlichkeit, die Forderung  
 4 Punkten für die Umbildung jedes einzelnen Meß-  
 is und nicht zum wenigsten auch der approxima-  
 Charakter des Verfahrens — exakt ist nur die  
 ogonalprojektion in unmittelbarer Nähe der dem  
 iliten Abstand der Projektionsfläche entsprechen-  
 Schichtlinie — haben das verhindert.

Trotzdem hat eine amerikanische Firma — BROOK  
 'EYMOUTH in New York — das Verfahren wieder  
 egriffen<sup>2</sup> und sogar Patentschutz darauf erhalten.<sup>3</sup>  
 nterscheidet sich von der oben geschilderten Me-  
 e im wesentlichen nur dadurch, daß die Projektion  
 t auf photographischem Wege, sondern durch frei-  
 liches Nachzeichnen des projizierten Bildes mittels  
 tift fixiert wird.

**20 Doppelprojektor nach Scheimpflug Konstruk-**  
**n von Gasser, Nistri und Ferber.** Der von DEVILLE  
 verwirklichte Gedanke, den Schnittpunkt der Ob-  
 strahlen unmittelbar zu beobachten, ist bereits  
 30 Jahre früher von SCHEIMPFLUG gefaßt und in  
 artiger Weise durchgeführt worden. SCHEIM-  
 10 suchte die Aufgabe des Vorwärtseinschneidens durch die alle seine  
 oden kennzeichnende Umkehrung des Aufnahmevorganges mittels Projek-  
 zu lösen.

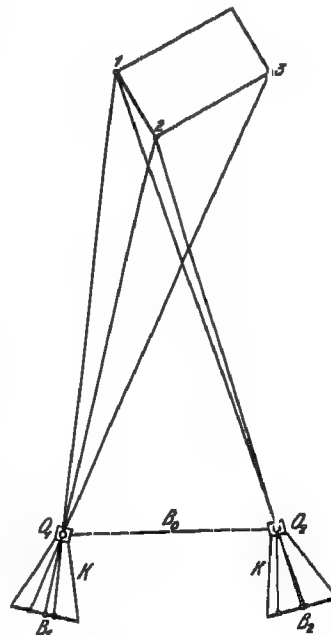


Abb 99 Strahlengang bei einer  
 Doppelaufnahme

<sup>1</sup> C. PULFRICH, ZS f. I. 23, 1903, S. 334.

<sup>2</sup> G. T. BERGER, Trans. Am. Soc. C. Eng., Nr. 1606 (1927), L. J. R. HOLST, Journ.  
 of Franklin Inst. 206, 1928.

<sup>3</sup> Zum Beispiel I. P. Nr. 593063 und Amer. P. Nr. 1612800.

In seiner diesbezüglichen Abhandlung<sup>1</sup> zeigt er (Abb 99) den Grundriß Strahlenganges für die Aufnahme etwa eines Hauses auf den zunächst vertikale im übrigen aber beliebig gerichteten, mit der Kammer  $K$  aufgenommenen Bildern  $B_1$  und  $B_2$  von den Endpunkten  $O_1$  und  $O_2$  der Basis  $B$  aus

Nach der Entwicklung der Bilder legt er diese in die Projektoren  $Pr_1$  und (Abb 100), in denen der Abstand der Objektive von den Bildebenen gleich Bildweite der Aufnahmekammer ist. Dabei wird den optischen Achsen der Projektoren die gleiche Lage zur Basis und zum Horizont gegeben, welche optischen Achsen der Kammer in ihren beiden Aufnahmestellungen einnahm. Beleuchtet man nun die Maßbilder mit den Lichtquellen  $L_1$  und  $L_2$ , so werden die zusammengehörigen Bildpunkte der einzelnen Objektpunkte gehenden Lichtstrahlen sich im Objektraum in Punkten schneiden, deren Gesamtheit ein optisches Modell des aufgenommenen Objekts darstellt, wobei der Maßstab des Modells gleich dem Verhältnis der Aufnahmebasis  $B$  zur Projektionsbasis  $b$  ist.

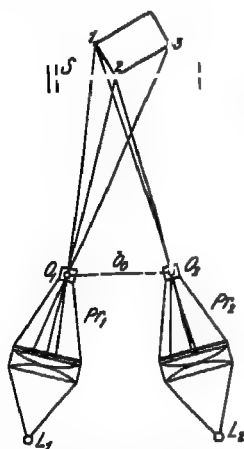


Abb 100 Umkehrung des Aufnahmevorganges Doppelprojektion nach TH SCHEIMPFLUG

Um dieses nicht ohne weiteres<sup>2</sup> wahrnehmbare Modell der Rekonstruktion zugänglich zu machen, br SCHEIMPFLUG eine im vorliegenden Falle vertikale Projektionsebene  $S$  (Abb 100) in den doppelten Strahlenkegel. Auf ihr werden im allgemeinen sämtliche Objektpunkte doppelt abgebildet werden (so z. B. alle Punkte der Kante 1 und 3) mit Ausnahme derjenigen Punkte, in die Projektionsebene selbst fallen, z. B. sämtliche Punkte der Kante 2, die als einzige scharfe Linie aus dem Projektionsfeld herausheben wird.



Abb 101 Raummarke mit Zeichenstift

Was für diese Kante als Schnittlinie Projektionsebene und Modell gilt, das natürlich auch für jede andere Schnittlinie. Verschiebt man also die Projektionsebene parallel zu sich selbst und fixiert bzw. bindet mittels eines Bleistiftes jeweils nicht doppelt gesehene Punkte, so erhält man den Aufriß von Parallelschnitten (Profilen) durch das Objekt.

Zur Zeichnung des Grundrisses wird man sich zweckmäßig einer in Abb schematisch dargestellten Raummarke bedienen, die aus einer schmalen vertikalen Projektionsfläche besteht, die auf der horizontalen Grundebene der Apparat so zu verschieben ist, daß die Koinkidenz der beiden projizierten Bilder der Mittellinie  $V$  der Raummarke erfolgt. In dieser Stellung schneidet nach oben Gesagten die Mittellinie das Modell, so daß ein an der Raummarke anbrachter Bleistift  $M$  den Grundriß des Schnittpunktes markiert.

Ein an der Marke verschiebbarer Höhenzeiger  $Z$  gestattet die Feststellung der Höhe des eingestellten Objektpunktes über der Grundrißebene. Bei feiner Einstellung des Zeigers kann man mit seiner Hilfe Punkte gleicher Höhe suchen, so daß der Bleistift eine Schnittlinie aufzeichnet.

Man erkennt somit, daß die SCHEIMPFLUGsche Methode dem jungen DEVILLESschen Verfahren wesensverwandt ist, der Unterschied besteht da

<sup>1</sup> TH SCHEIMPFLUG, Phot. Korr. 35, 1898, S. 114, 221, 235, E. DOLBE, Int. Arch. f. Photogram. 6, 1919/23, S. 313.

<sup>2</sup> Vgl. S. 83, Anm. 1.

SCHEIMPFLUG den Strahlenschnittpunkt objektiv beobachtet, während die Bildpunkte subjektiv auf die Raummarke projiziert werden.

Die SCHEIMPFLUGsche Methode ist insofern vorteilhafter als die DEVILLESsche, die mit ihr erzielten Resultate völlig unabhängig sind vom Augenabstand des Beobachters und hier die bei verschwenkten Aufnahmen auftretenden Unterschiede in der Bildgröße nicht in Erscheinung treten. Andererseits ergibt die zur Erzielung eines dem Aufnahmebüschel kongruenten Projektionsbüschels notwendige unveränderliche Bildweite der Projektoren bei konstanter Brennweite der Objektive eine scharfe Abbildung nur in einer bestimmten Entfernung des Schnittpunktes von den Projektoren. Infolgedessen ist die SCHEIMPFLUGsche Methode für Objekte mit großen Abstandsdifferenzen (Tiefenunterschieden) ihrer Bildpunkte nicht geeignet, sie ist also insbesondere für die Ausarbeitung terrestrischen photogrammetrischen Aufnahmen unbrauchbar.

Günstiger liegen die Verhältnisse bei Aufnahmen mit nahezu senkrechten Aufnahmeerachsen. Hier sind die Tiefenunterschiede der Objektpunkte im Verhältnis zur Flughöhe im allgemeinen gering, so daß sich die auftretenden Unterschiede durch Wahl kurz Brennweitiger Projektionslinsen und durch geeignete Abbildung derselben in erträglichen Grenzen halten lassen.

Abb. 102 zeigt schematisch den Aufbau eines Doppelprojektors für Luftmessungen zunächst für den Spezialfall, daß die Aufnahmen aus gleichen Höhen und aus senkrechter gemacht wurden. Die Projektoren  $Pr$  sind auf der gewöhnlich fest gelagerten Basisbrücke  $T$  befestigt. Die aus den Objektiven  $O$  ausströmenden Strahlen ergeben das optische Modell, dessen Maßstab von dem regulierten Abstand  $b_0$  der Projektoren abhängt. Eine parallel zu den Bildebenen

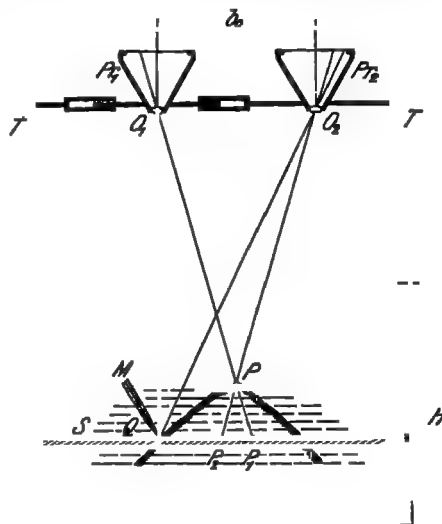


Abb. 102 Konstruktionsschema und Wirkungsweise eines Doppelprojektors nach SCHEIMPFLUG

Projektoren angeordnete Projektionsfläche  $S$  — nach der gemachten Voraussetzung also eine Horizontalebene — schneidet das optische Modell in einer Schnittlinie, die nach dem oben Gesagten unmittelbar mit einem Bleistift  $M$  eingezeichnet werden kann. Zur Zeichnung beliebiger weiterer Schnittlinien kann die Projektionsfläche bzw. die Zeichenfläche parallel zu sich selbst verschoben werden, wobei sich der Abstand der einzelnen Schnittlinien aus den Abständen an einem Höhenmaßstab  $H$  ergibt. Zur Feststellung des Grundrisses eines beliebigen Punktes  $P$  hat man die Projektionsfläche so lange zu verschieben, bis sich die Doppelbilder  $P_1$  und  $P_2$  vereinigen. Die entsprechende Ablesung am Maßstab  $H$  gibt dann die Höhe des Punktes über dem Nullpunkt des Maßstabes bzw. über der diesem Nullpunkt entsprechenden Meereshöhe<sup>1</sup>.

Zur leichteren Feststellung der Koinkidenz der beiden Teilbilder brachte

<sup>1</sup> Es ist selbstverständlich, daß an Stelle der ablesbaren Parallelverschiebung der Zeichenfläche  $S$  eine ebensolche Verschiebung der Basisbrücke  $T$  bei feststehender Zeichenfläche treten könnte.

SCHNEMPFLUG bereits 1910 die Verwendung der PULFRICH'schen Blinkmethode in Vorschlag, danach wird abwechselnd und in kurzen Zeitintervallen Strahlenkegel des linken und des rechten Projektors abgeblendet. Infolgedessen scheinen sämtliche Bildpunkte mehr oder weniger rasch hin- und herzuspringen mit Ausnahme derjenigen Punkte, die, wie z. B. die Punkte der der Projektionsebene angehörenden Schichtlinie, in dieser Ebene koinzidieren.

Ein Doppelprojektor ist nicht nur für vertikale Normalstereogramme sondern auch für solche Aufnahmen brauchbar, deren Achsen bis zu etwa 10° von der Vertikalen abweichen, wenn man nur dafür sorgt, daß die Lage der Projektionszentren  $O$  und die Neigung der optischen Achsen der Projektoren

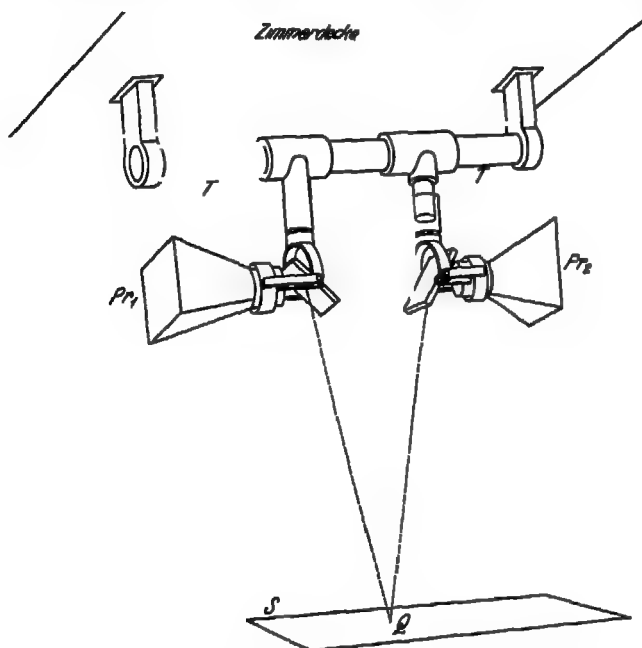


Abb 103 Anordnung der Projektion nach M. GASSER

gegenüber der Zeichenebene vollständig den bei den verschiedenen Stellungen der Aufnahmekammer gegen den Horizont entsprechenden Neigungen entsprechen. Demzufolge muß bei der nächsten Einstellung einer der Projektoren noch einmal um 180° gedreht werden, um die Projektoren wieder winkelmäßig zueinander anzuordnen. Die optischen Achsen müssen dabei parallel zur Zeichenebene ausgerichtet werden können (Einstellung der Neigung und Verschwenkung der Projektoren). Da es sich dabei um eine kleine Verschiebung handelt, kann damit zu rechnen, daß das Luftfahrzeug auf seinem Bahnfeld von der ersten zur zweiten Aufnahme eine kleine Abdrift erleidet.

Der Effekt genau dem eines Höhenunterschiedes der Standpunkte terrestrischer Aufnahmen entspricht (vgl. Abb. 73, S. 58), so muß einer der Projektoren auch noch winkelmäßig zur Basisbrücke und dabei parallel zur Zeichenebene verschiebbar sein. An Stelle dieser Verschiebung kann (vgl. Abb. 74, S. 58) eine Drehung beider Projektoren um ihre optischen Achsen eine entsprechende Drehung (Verkantung) der Meßbilder in ihrer Ebene bewirken.

Nach dem Tode SCHNEMPFLUGS ist das Doppelprojektionsverfahren zum erstenmal von M. GASSER<sup>2</sup> wieder aufgegriffen und weiter ausgebaut worden. Der Apparat besteht im wesentlichen darin, daß (Abb. 103) die optischen Achsen der Projektoren wagerecht gelagert und dabei vor den Projektionsobjektiven  $S_1$  und  $S_2$  angebracht sind, durch welche die austretenden Strahlen wieder nach der vertikalen Zeichenebene hingeleitet werden. Weiterhin wird zur Aufsuchung koinzidierender Punkte eine Raummarke, ähnlich der in Abb. 101 dargestellten,

<sup>1</sup> C. PULFRICH, ZS f. I. 24, 1904, S. 161, DERSELBE, Neue stereoskop. Meß- und Apparate Berlin 1912

<sup>2</sup> D. R. P. Nr. 306385 O. v. GRUBER, Der Bauingenieur 4, 1923, S. 434

utzt und mit einem Pantographen verbunden, um die im allgemeinen in  
ßen Maßstaben erhaltene Projektion unmittelbar in kleinere Maßstabe um-  
zeichnen

Auch der Photokartograph von A. NISTR<sup>1</sup> (Abb 104) beruht auf dem  
SCHUMPFLOG'schen Verfahren. Bei diesem Instrument sind die optischen Achsen  
Projektoren ebenfalls horizontal gelagert, die Projektion erfolgt aber ohne  
egel unmittelbar auf eine oder mehrere vertikal angeordnete Projektions-  
nen, die schematische Abb 102 entspricht also dem Grundriß des NISTR'schen  
ätes. Auch NISTR benutzt eine Raummarke, die hier jedoch nicht freihändig,  
dern mittels eines Kreuzschlittenantriebes bewegt wird, durch den allerdings

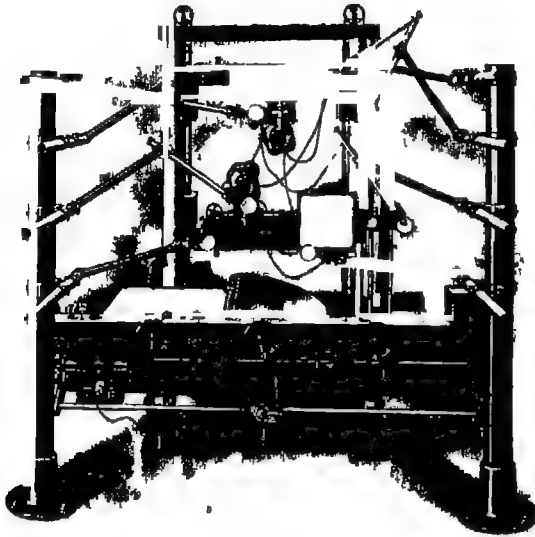


Abb 104 Photokartograph nach A. NISTR

wesentlicher Vorteil der Doppelprojektion, nämlich die Möglichkeit zur  
ehen, weil freihändigen Zeichnung, wieder verloren geht

Das genaue SCHUMPFLOG'sche Verfahren genügt wegen seiner unmittel-  
ren Beobachtung einer objektiven Projektion besonders hinsichtlich der  
hondarstellung leider nur mäßigen Genauigkeitsansprüchen, die Sicherheit  
ler Feststellung der Koinkidenz zweier Punkte hängt ganz wesentlich ab von  
Beschaffenheit der Objektfläche. Die Feststellung der Koinkidenz wird um  
schwieriger und ungenauer, je weniger markant die beobachteten Punkte sind,  
einförmigem Gelände, wie z. B. an Wiesenhängen, versagt die Methode sogar  
lig. Aber auch bei an sich markanten Objektpunkten kommt der Bestimmung  
Koinkidenz ihrer Bildpunkte wegen der bereits erwähnten allgemeinen Un-  
arfe der Abbildung nur eine geminderte Sicherheit zu.

Um diese Unscharfe zu beheben, hat 1928 R. FERBER (Firma GALLUS in  
is) in Anlehnung an eine BAUERSFELD'sche Konstruktion (s. S. 96 f.) je ein

<sup>1</sup> G. CASSINIS, Atti della Inst. Settimana Aeronautica, Rom 1925, A. NISTR, Aeronautica VI, 1927, D. R. P. Nr. 382100

drehbares und in seiner Brennweite veränderliches optisches Zusatzsystem den Projektionsobjektiven angebracht (Abb 104\*) Beide Zusatzsysteme sind mit der Raummarke verbunden und werden von ihr so gesteuert, daß in

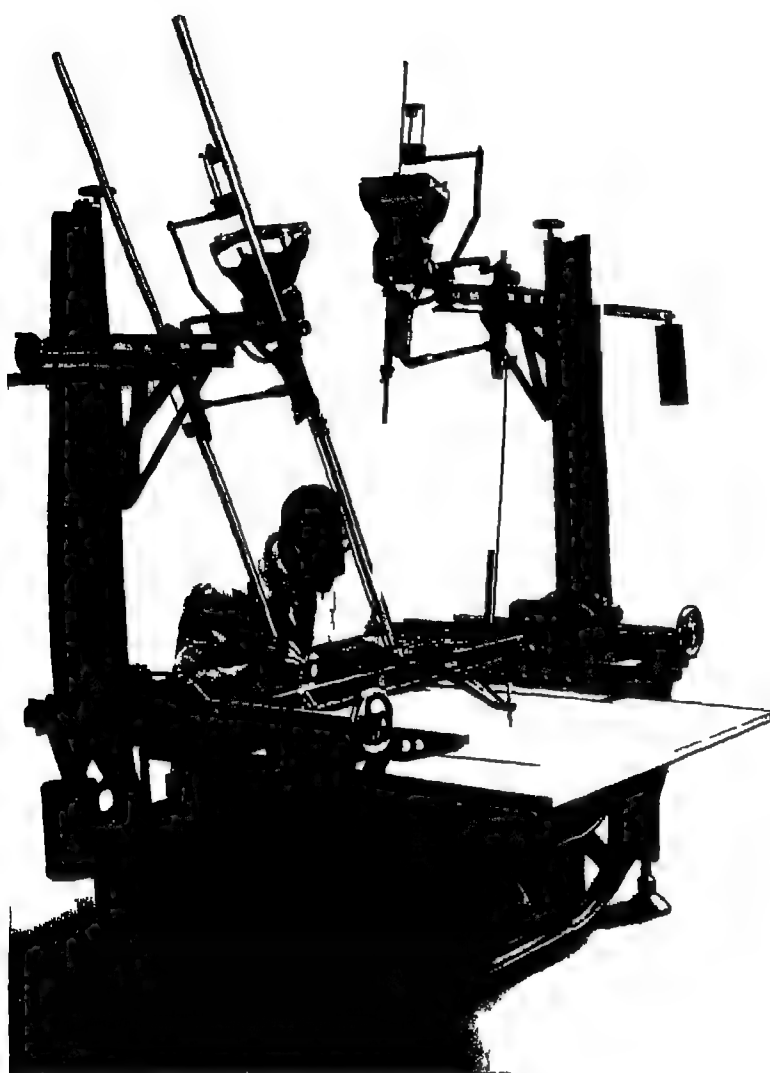


Abb 101\* Kartierungsgerät nach R. LEHNER

mittelbarer Nähe der Raummarke eine scharfe Abbildung stattfindet<sup>1</sup> und wird — wenn auch unter Verzicht auf die sehr vorteilhafte Totalprojektion Meßbilder — eine Fehlerquelle des ursprünglichen SCHEIMPFLUG'schen Verfa-

<sup>1</sup> Eine ähnliche Einrichtung verwendet auch H. BOYKOW bei einem von ihm konstruierten Gerät (Luftbild Triangulator), das aber bisher anscheinend noch keine praktische Verwendung gefunden hat und über das in der allgemeinen zugänglichen Literatur Näheres nicht veröffentlicht worden ist.

isgeschaltet. Die wichtigste Fehlerquelle aber, die in der Abhängigkeit des Verfahrens von der Beschaffung der Objektoberfläche besteht, bleibt auch bei dem Gerät von FERBER noch wirksam.

**21 Aerosimplex nach Hugershoff.** Das zweckmäßigste Mittel, das Doppelprojektionsverfahren unabhängig zu machen von der Beschaffenheit der Objektoberfläche, besteht darin, daß man die Teilbilder auf die gleiche Ebene nebeneinander projiziert und die Einzelprojektionen je einem Auge getrennt zuführt, daß diese Einzelbilder zu einem virtuellen Raummodell verschmelzen. Damit ergibt sich die Möglichkeit, an die Stelle der unmittelbaren objektiven Beobachtung des Strahlenschnittpunktes die stereoskopische Beobachtung desselben treten zu lassen, die, wie gezeigt wurde, auch in einfürmigem Gelände anwendbar ist und überdies eine wesentlich höhere Messungsgenauigkeit zuläßt (gl. S. 50).<sup>1</sup>

Das Konstruktionsprinzip eines derartigen, 1928 von R. HUGERSHOFF angegebenen Stereo-Doppelprojektors<sup>2</sup> ist in Abb. 105 schematisch im Grundriß dargestellt.

Von den beiden Projektoren  $Pr_1$  und  $Pr_2$  mit waagchten optischen Achsen ist der Projektor  $Pr_2$  aus seiner ursprünglichen Stellung ( $Pr_2$ ) um die Basis  $O_1$  ( $O_2$ ) =  $b_0$  um die Strecke  $h$  verhooben. Dementsprechend erhöhen jetzt auch die beiden Teilbildpunkte  $Q_1$  und  $Q_2$  eines der aus einer Mattscheibe bildeten Schirmebene  $S$  liegenden Objektpunktes  $Q$  (vgl. dazu Abb. 102) in einem Abstand  $h$  voneinander. Bringt man auf diese Teilbildpunkte eine Zielmarke  $m_1$  bzw.  $m_2$

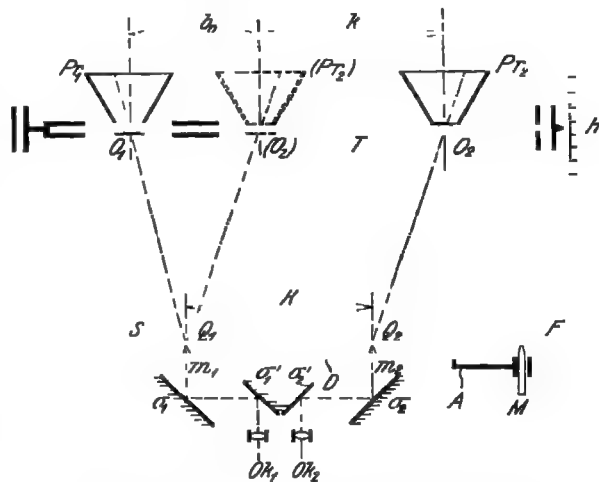


Abb. 105 Wirkungsweise des Aerosimplex nach R. HUGERSHOFF

und betrachtet die Teilbilder mittels eines aus den Spiegeln  $\sigma_1, \sigma_1', \sigma_2, \sigma_2'$  und den Okularen  $Ok_1, Ok_2$  gebildeten (HELMHOLTZschen) Stereoskops, so erblickt man ein virtuelles Modell des Objektes, das von dem virtuellen Verschmelzungsbild der Teilmarken  $m_1$  im Raumpunkt  $Q$  berührt wird.

<sup>1</sup> Auch die übereinander projizierten Teilbilder lassen sich einer für beide Augen getrennten Wahrnehmung zuführen, wenn man die Teilbilder komplementär (das eine rot und das andere grün) farbt und die Projektionsfläche mit einer Linse betrachtet, deren linkes bzw. rechtes Glas ebenfalls diese Farbhungen aufweisen. Die Verwendung dieses 1858 von D'ARMEIDA angegebenen Anaglyphen-Verfahrens blüht man die durch die Strahlenschnittpunkte gebildete Modelloberfläche direkt in unmittelbarer körperlich nachbildbarer Beschaffenheit (vgl. den Aufsatz von O. v. GRUBER in Der Baugemein, 4, 1923, S. 434). Die Genauigkeit einer nach diesem Verfahren durchgeführten Rekonstruktion ist aus verschiedenen Gründen wesentlich geringer als die einer Rekonstruktion nach der oben angegebenen Methode. Den Doppelprojektor für anaglyphische Projektion beschreibt J. FREDRUMEAU, Se et Ind phot 1926, Nr. 2.

<sup>2</sup> R. HUGERSHOFF, Bildmess u. Luftbildwes 4, 1929, S. 24.



Die mittels eines Steges  $D$  starr miteinander verbundenen Teilmarken können freihändig über die ganze Projektionsebene verschoben werden, wobei eine besondere Führung dafür sorgt, daß die Markenverbindungsline stets parallel zu sich selbst und wagrecht bleibt.

Bewegt man jetzt beide Teilmarken so, daß ihr Verschmelzungsbild, virtuelle Raummarke, in steter Berührung mit der Modelloberfläche bleibt, bewegt sich die Raummarke längs der durch den Punkt  $Q$  gehenden Schichtlinie.

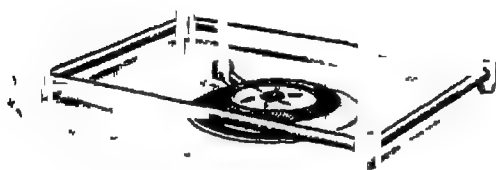
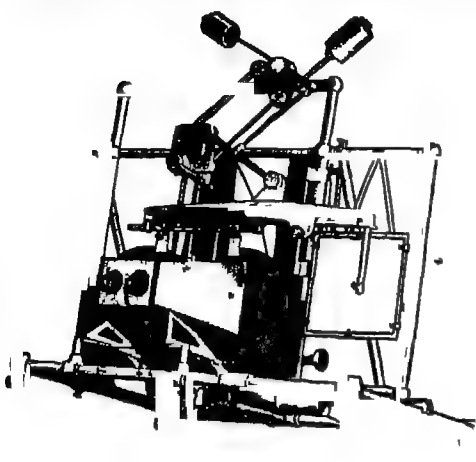


Abb. 100 Aerosimplex nach R. HUGERSHOFF

Im Vergleich mit Abb. 102 erkennt man, daß jede der Teilmarken damit auch jeder beliebige Punkt, der starr mit dem Steg verbunden ist, die Orthogonalprojektion dieser Schichtlinie schreibt. Insbesondere wird durch den Arm  $A$  mit dem Steg verbundener Bleistift  $M$  die Schichtlinie auf eine parallel Projektionsebene und senkrecht zu selbst liegende Zeichenfläche aufgetragen. Die Einstellung hoher oder tiefer gelegenen Punkten der Modelloberfläche erfolgt ganz wie bei dem oben beschriebenen SCHEMPFLUGSchen Verfahren durch entsprechende Änderung Abstandes zwischen der Projektionsebene  $S$  und der Basisbrücke  $T$ , nur daß hier aus Zweckmäßigkeitsgründen die Projektionsfläche  $S$  feststeht und die Basisbrücke parallel zu sich selbst verschoben wird. Die Verschiebung ist an einem Höhenmaßstab  $H$  abzulesen. Der Maßstab der Kartierung gibt sich aus dem Verhältnis der Projektionsbasis  $b_0$  zur Aufnahmebasis  $B_0$ , er kann durch Änderung des Abstandes  $O_1O_2$  der Projektoren beliebig eingestellt werden.<sup>1</sup>

Das Gerät, das unter dem Namen Aerosimplex von den Firmen G. & H. HEYDE G. m. b. H. und AEROTOPOGRAPH G. m. b. H. in Dresden gebaut und vertrieben wird, ist in Abb. 106 in der Ansicht wiedergegeben. Die Verschiebung der Basisbrücke gegen die Projektionsfläche erfolgt durch eine Fußscheibe, die Größe der Verschiebung wird an einem Zahlwerk abgelesen. Zum Zweck der exakten Wiederherstellung der Orientierung der Teilbilder gegeneinander und zum Horizont, d. h. also hier zur Projektionsebene, kann jeder der beiden Projektoren um drei zueinander winkelrechte Richtungen verschoben und u

<sup>1</sup> Man beachte, daß das teilweise aus Zielstrahlen gebildete Trapez  $O_1O_2O_3O_4$  ganz der in Abb. 86 dargestellten Hebelanordnung am Stereocautographen entspricht.

dies beliebig geneigt und verschwenkt werden. Außerdem lassen sich die Meßbilder beliebig verkanten.

Die Projektion der Meßbilder geschieht unter Benutzung spezieller Kondensoren mit Hilfe von Lampen, für die eine Stromquelle von 12 Volt benötigt wird.

Das der Betrachtung dienende Spiegelstereoskop besitzt entsprechend der auf S 57 erwähnten Forderung Okulare von so großem Durchmesser, daß auch Beobachtern mit beträchtlichen Abweichungen von der normalen Augenstellung eine zwangsfreie Beobachtung möglich ist.

Dem Gerät wird ein zweites Betrachtungsstereoskop beigegeben, dessen Spiegel so angeordnet sind, daß das linke Bild dem rechten Auge und umgekehrt dargeboten wird (vgl. Abb 121 und 122). Diese Einrichtung dient in der Hauptsache dazu, auch dann den normalen stereoskopischen Effekt zu erzielen, wenn die Meßbilder standortsverkehrt eingelegt wurden. Über die besondere Bedeutung dieser Einrichtung für die optische Orientierung von Bildern einer fortlaufend aufgenommenen Bildreihe (Folgebildern) siehe S 201.

Der Aerosimplex ist zunächst zur unmittelbaren Ausmessung der mit einer automatischen Kammer (Reihenbildner, vgl. S 151ff) gewonnenen Aufnahmen bestimmt, das Bildformat dieser Kammer ist  $5,4 \times 5,4$  cm, das Kammerobjektiv hat eine Brennweite von 6 cm, dementsprechend ist auch die Bildweite der Projektoren 6 cm. Die Brennweite der Projektionsobjektive beträgt dagegen nur 4,5 cm, so daß die größte Schärfe der Abbildung bei einem Abstand von etwa 18 cm der Projektionsobjektive von der Projektionsebene erfolgt. Dank der großen Tiefschärfe der Abbildung ist die Bildschärfe für die stereoskopische Ausmessung zwischen den Abständen 14 cm und 22 cm noch völlig ausreichend. Es dürfen also beispielsweise bei einer mittleren Flughöhe von 1800 m die Höhenunterschiede im Gelände bis zu 800 m betragen.

Mit dem Gerät können selbstverständlich auch Aufnahmen ausgemessen werden, die mit Kammer von beliebigen anderen Bildweiten hergestellt wurden, wenn sie zuvor entsprechend dem angegebenen Bildformat verkleinert wurden.

Das Instrument besitzt sehr geringe Ausmaße: es ist 95 cm breit, 65 cm tief und insgesamt 175 cm hoch, dementsprechend beträgt auch das Gewicht nur etwa 50 kg.

An dieser Stelle mag noch das Gerät von SANTONI (Italien) Erwähnung<sup>1</sup> finden, bei dem die in Abb 105 dargestellten projizierenden Strahlen  $O_1 Q_1$  und  $O_1 Q_2$  durch Hebel wiedergegeben sind, deren Drehpunkte  $O_1$  und  $O_2$  sich an Stille der (nicht vorhandenen) Objektive befinden.

Die rückwärtigen Verlängerungen dieser Hebel berühren unmittelbar die

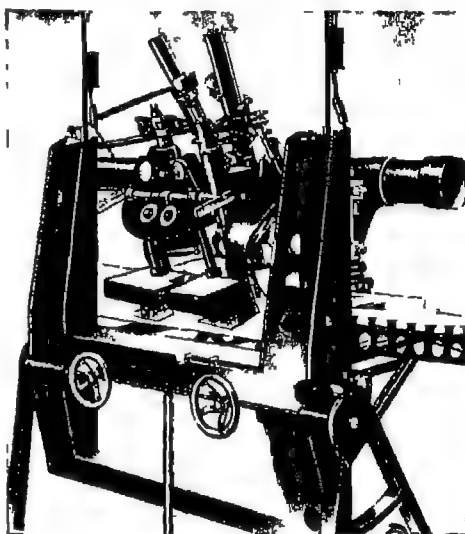


Abb 105\* Restilutor nach N. SANTONI

<sup>1</sup> O. KOERNER, Bildmess u. Luftbildwes 2, 1927, S 78, G. CASSINIS, Ann. della R. Scuola d'ingegneria di Padova, 3, 1927, DERSELBE, Bildmess u. Luftbildwes 4, 1929, S 38.



Von den Bildträger-Stehachsen werden die Horizontallineale  $L$  mitgenommen. Diese Lineale, die gegen die Stehachsen verdrehbar und mit ihnen verklebbar sind, werden vor Beginn der Arbeit so eingestellt, daß sie mit Bezug auf die Basis  $O_1O_2$  in die Aufnahmerichtungen zeigen, während an den Zielmarken  $m$  des Doppelfernrohres die Hauptpunkte der Aufnahmen erscheinen. Hieraus folgt, daß bei Einstellung der identischen Bildpunkte  $p_1$  bzw.  $p_2$  — gleichzeitig bei welcher Neigung und unter welcher Richtung die Aufnahmen gemacht wurden — der Schnittpunkt  $P_0$  der Linealkanten die Horizontalprojektion desjenigen Punktes des im Doppelokular gesehenen optischen Modells ist, auf dem das Verschmelzungsbild der Meßmarken  $m$  aufsteht. Dieser Kartenpunkt kann durch einen im Linealschnittpunkt angebrachten Bleistift auf der Zeichenfläche  $F$  fixiert werden.

Die selbsttätige Ermittlung des Höhenunterschiedes des Objektpunktes  $P$  gegen den Aufnahmehorizont des linken Standpunktes geschieht durch eine mechanische Rekonstruktion des Hohendreiecks (vgl. z. B. Abb. 46, S. 36)  $\angle_1 PP_0$  an einer seitlich angebrachten Hilfsvorrichtung. Diese besteht aus dem ebenfalls wagrecht gelagerten Lineal ( $L_1$ ) und der Höhenbrücke  $Br_1$ . Das Lineal ( $L_1$ ) dreht sich um eine vertikale Achse  $O_1'$ , es wird von dem Reflektor  $R_1$  um den gleichen Winkelbetrag verschwenkt,<sup>1</sup> um die der Reflektor kippt. Bei wagrechtlicher Lage des Reflektors (Neigung des Bildstrahles  $0^\circ$ ) liegt die Ziehkante des Lineals ( $L_1$ ) in der Richtung  $O_1'P_0$ , die parallel ist zur Gleitschiene  $V_1$ , an der sich die Höhenbrücke  $Br_1$  verschiebt. Die Höhenbrücke steht mittels des Stahlbandes  $S$ , das durch das Gewicht  $G$  in Spannung gehalten wird, in Verbindung mit dem Schnittpunkt  $P_0$  der Horizontallineale. Die Länge des Stahlbandes ist dabei so reguliert, daß die Strecke  $P_0O_1$  stets gleich dem Abstand  $P_0O_1'$  der Höhenbrücke  $Br_1$  von  $O_1'$  ist.

Man erkennt also, daß am Schnittpunkt ( $P$ ) der Kante des Lineals ( $L_1$ ) mit einer auf der Höhenbrücke  $Br_1$  angebrachten Teilung (mit dem Nullpunkt in  $P_0$ ) der Höhenunterschied  $z_1$  des Objektpunktes gegen den Standpunkt  $O_1$  unmittelbar abgelesen werden kann.

Bei der praktischen Ausführung des Gerätes ist die beschriebene Höhenmeßeinrichtung auf der rechten Seite des Apparates wiederholt, so daß auch der Höhenunterschied  $z_2$  des Objektpunktes gegen den rechten Standpunkt  $O_2$  unmittelbar ablesbar ist. Die (konstante) Differenz beider Ablesungen ist offenbar die vertikale Komponente  $b_z$  der Aufnahmebasis  $b$ . Weiterhin geht die Einstellung der Bildpunkte bzw. der Lineale nicht von einer primären Drehung der Bildträger  $T$  und der Reflektoren  $R$  aus, sondern geschieht sekundär durch Verschiebung des Linealschnittpunktes  $P_0$  bzw. durch Änderung der Höhenbrückenabschnitte  $z$ . Zu diesem Zwecke sind ähnlich wie am Stereautograph (Abb. 90, S. 69), ebene Kreuzschlittenführungen, und zwar hier drei solche Führungen, vorgesehen. Der Hauptschlitten wird durch zwei Handräder betätigt, die dem Bleistift eine Bewegung in der  $x$ - bzw.  $y$ -Richtung erteilen. Die beiden Höhenlineale werden gemeinsam durch eine Fußscheibe angetrieben, diese bewegt mittels je einer in der betreffenden Höhenbrücke liegenden Spindel je eine Schraubenmutter, an der das betreffende Höhenlineal dreh- und gleitbar befestigt ist. Die Kupplung zwischen Fußscheibe und Höhenlinealen ist losbar, so daß eines der Höhenlineale mitsamt dem zugehörigen Reflektor vor Beginn der

<sup>1</sup> Die Übertragung des Neigungswinkels geschieht bei der praktischen Ausführung nicht durch Kegelhäuler, wie es die schematische Abb. 107 zeigt, sondern durch ein besonderes Hebelsystem (vgl. D. R. P. Nr. 372222), das praktisch ohne jeden Toten Gang ist.

Arbeit so eingestellt werden kann, daß die Differenz der Ablesungen an bei-  
den Höhenskalen der vertikalen Komponente der Aufnahmebasis entspricht

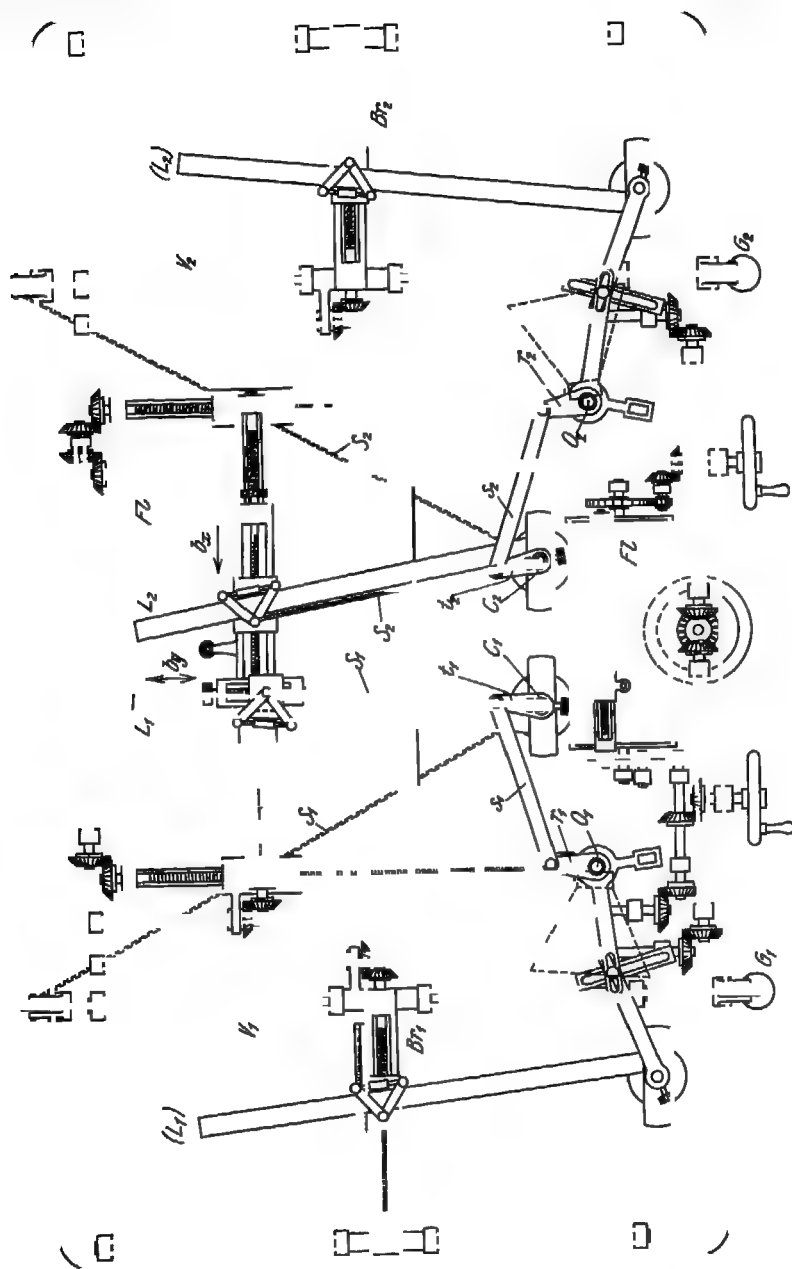


Abb 108 Grundriß des Autostereographen nach R. HUGERSHOFF

Durch gleichzeitige Betätigung aller drei Antriebsmittel kann die R-  
marke auf der Oberfläche des optischen Modells ganz wie beim Stereo-  
graphen beliebig entlang geführt werden, dabei tritt hier keine Vertikal-  
laxe auf, da ja durch die Verwendung zweier Höhenlineale die Bildstr

an identischen Punkten gleichzeitig in die Richtung der Fernrohrziellinien gebracht werden

Konstruktive Einzelheiten<sup>1</sup> sind aus der in Abb 108 wiedergegebenen Grundrisszeichnung erkennbar, so insbesondere die Benutzung eines „Basislittens“ (vgl S 68 und Abb 86) zur maßstäblichen Einstellung der Hori-

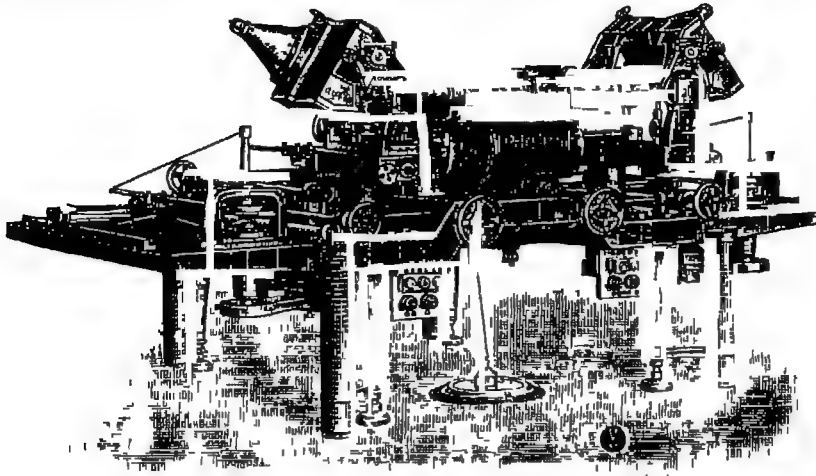


Abb 109 Autokartograph nach R HUGENSHOFF

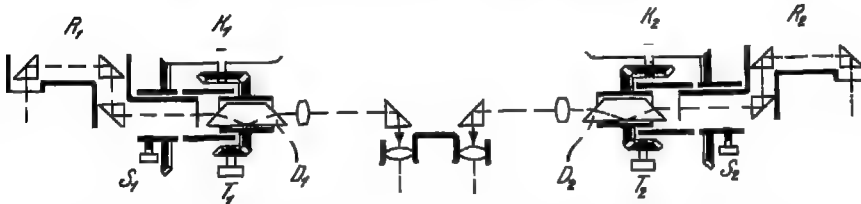


Abb 110 Optisches Betrachtungssystem des Autokartographen (Binokulares Periskop)

zontalprojektion  $b_0$  der Aufnahmebasis  $b$  oder beliebiger Komponenten derselben der  $x$ - und  $y$ -Richtung<sup>2</sup> Die konstante „Apparatebasis“ ist auch hier der

<sup>1</sup> Vgl z B H KREBS, ZS f Fernmeß 30, 1922, S 37, 63, 75, 87, 102, DOLEŽAL, Int Arch f Photogramm 6, 1919/23, S 288, E SNIŽEK, ZS d telechosllovak Ing, Prag 1925, O EGGERI, ZS f Verm 57, 1928, S 625

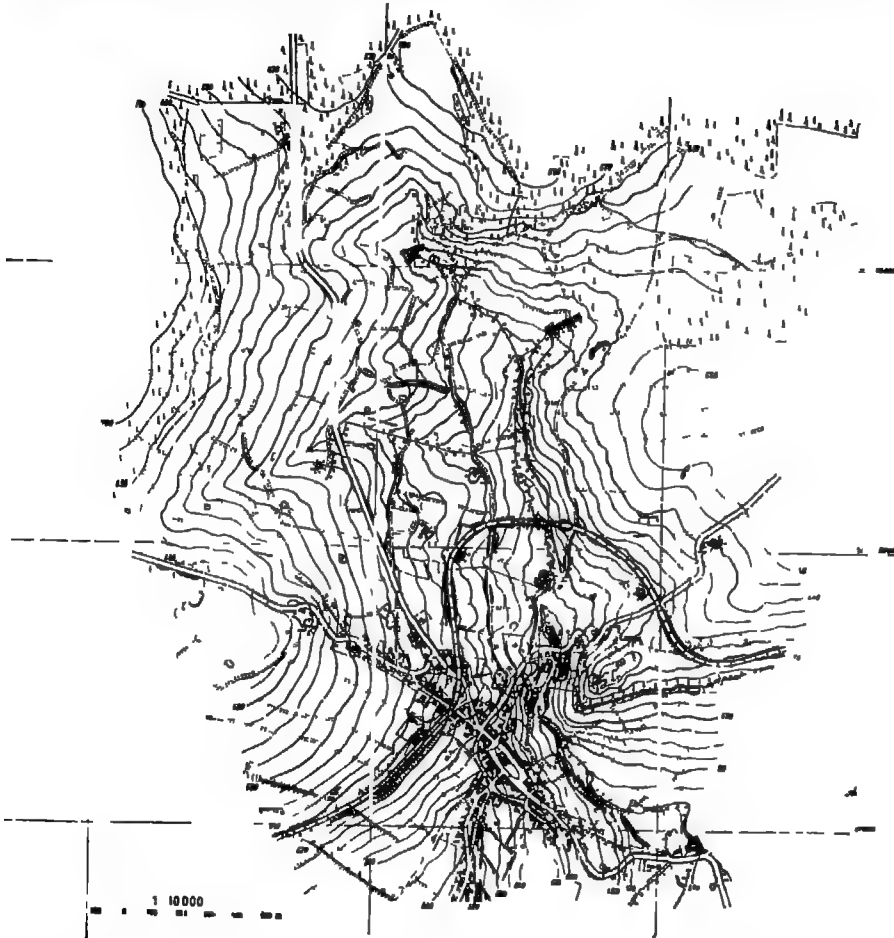
<sup>2</sup> Diese zuerst am Stereoautographen nach einem Vorschlag von K FUCHS gewandte Zerlegung der Horizontalprojektion  $b_0$  der Basis  $b$  in die dem gemeinsamen Verschwenkungswinkel  $\varphi$  entsprechenden Komponenten  $b_x = b_0 \cos \varphi$  und  $b_y = b_0 \sin \varphi$  (S 60) ist hier an sich nicht erforderlich, da ja beide Horizontal-ale „knickbar“ sind Sie gewährt den Vorteil, daß die bei starker Verschwenkung r Aufnahmen am Rand der Zeichenfläche entstehende Karte in die Mitte dieser äche gerückt werden kann Die Einrichtung wird trotz der Knickbarkeit der rizontal-lineale bei der Ausarbeitung von Senkrechtaufnahmen mit nicht genau riktalen Achsen notwendig, da hier die Basiskomponente  $b_y$  dem Höhenunterschied r Standpunkte gegen die (im Apparat vertikal durch den Hauptschlitten verlaufend denkende) Kartierungsebene, der Knickungswinkel aber der Verschwenkung der fnahmerrichtung gegen die Vertikale entspricht Die oben (S 88) erwähnte Basis- mponente  $b_z$  hat bei Senkrechtaufnahmen die Bedeutung einer seitlichen Ver- hiebung (Abtritt) des Standpunktes gegen die Flugrichtung (vgl S 233)



Abstand der Linealdrehpunkte  $C_1$  und  $C_2$ , die aber — im Gegensatz zur Stellung in der schematischen Abb 107 — nicht mit den Drehachsen Bildtrager zusammenfallen, sondern mit ihnen durch die Hebel  $r$ ,  $s$  verbunden sind

Die Wirkungsweise des Gerätes, von dem Abb 109 eine Gesamtansicht zeigt, ist ähnlich derjenigen, wie sie beim Stereoautographen bzw Autogra-

schrieben wurde (S 67 und S 74). Die Kartierung von wagrechten und schrägen Aufnahmen erfolgt unmittelbar auf der ebenen Zeichenfläche innerhalb des Apparates. Die Ausarbeitung von Senkrechtaufnahmen kann ähnlich wie im Wildschen Gerät auf einem seitlich aufzustellenden Koordinatographen oder auf einer in den Abb 108 und 109 sichtbaren zylindrischen Zeichenfläche erfolgen, die um ihre wagrechte Achse rotiert. Der Bleistift wird hier längs einer zur Zylinderachse parallelen Führungsschiene bewegt, seinen Antrieb erhält er



b 112 Die erste automatisch hergestellte Schichtlinienkarte aus beliebig orientierten Luftmeßbildern (vgl S 5 und 92)

an der Abszissenspindel des Hauptschlittens. Der Zylinder selbst wird in Rotation versetzt entweder von dem  $y$ -(Abstands-)Antrieb des Hauptschlittens (Ausarbeitung von wagrechten und schrägen Aufnahmen) oder aber vom  $z$ -(Höhen-)Antrieb der Nebenschlitten (Ausarbeitung von Senkrechtaufnahmen).

Eine wichtige Konstruktionseinzelheit wird durch die Einföhrung der drehbaren Reflektoren  $R$  bedingt, die Drehung dieser Spiegelsysteme hat eine entsprechende Drehung des betrachteten Bildausschnittes zur Folge, zur Aufhebung dieser Drehung sind in den Strahlengang des Doppelfernrohrs zwei Umkehrprismen  $D$  (vgl den schematischen Horizontalschnitt in Abb 110)



eingebaut und durch Kegelradgetriebe  $K$  mit den entsprechenden Reflektoren so verbunden worden, daß sich diese Prismen stets um die Hälfte desjenigen Winkels verdrehen, um den die entsprechenden Reflektoren kippen<sup>1</sup>

Zur Erzielung eines vollkommenen Stereoeffektes<sup>2</sup> beim Vorhandensein eines Höhenunterschiedes der Standpunkte (S 58) ist natürlich die hier wie erwähnt selbsttätig erfolgende Ausschaltung der Vertikalparallaxe nicht ausreichend; es muß vielmehr noch eine entsprechende Schiefstellung des Raummodells vorgenommen werden (S 59). Zu diesem Zwecke können die Umkehrprismen unabhängig von ihrer zwangsläufigen Drehung um entsprechende Winkel mit



Abb 113 Teilbild einer freihändigen terrestrischen Aufnahme zur Karte in Abb 114

Trieben  $T$  nach Lösung der Klemmen  $S$  von Hand gedreht werden<sup>3</sup>. Die Bedeutung dieser Einrichtung wird besonders klar, wenn man Aufnahmen mit vertikaler Basis (z. B. Aufnahmen aus einem Fesselballon bei verschiedenen Höhen desselben) in Betracht zieht. In diesem Falle waren beide Bilder optisch um  $90^\circ$ , die Umkehrprismen also um je  $45^\circ$  zu drehen, wobei natürlich hier die Horizontallinien parallelzustellen zu bringen sind (Horizontalkomponente der Aufnahmen Null, vgl. Abb 108, S 88).

Abb 111 zeigt ein Teilbild des Luftbildpaares, aus dem mit dem A

<sup>1</sup> CHR. v. HOFE, Fernoptik, 2. Aufl. 1921, S. 82

<sup>2</sup> Bei dieser Gelegenheit sei bemerkt, daß selbstverständlich das Doppelokular auch die in Abb 71, S. 57 dargestellte, für alle von HUGERSHOFF angegebenen Meßgeräte charakteristische vertikale Einstellbarkeit der Einzelokulare auf

<sup>3</sup> D. R. P. Nr. 358255

tographen die überhaupt erste Schichtlinienkarte (Abb 112) nach beliebig orientierten Schrägaufnahmen in kontinuierlich-mechanischer Zeichnung hergestellt worden ist. Weiter ist in Abb 114 der erste Plan wiedergegeben, der

Grund von freihändig aufgenommenen terrestrischen Meßbildern (siehe S. Abb 113) gewonnen wurde.

Der Autokartograph gestattet auch — ebenso wie die nachfolgend beschriebenen weiteren Universalgeräte — die mechanisch-kontinuierliche Umformung von Einzelaufnahmen ebener (und horizontaler) Gebilde. Er läßt sich deshalb mit Vorteil zur Lösung der meisten der auf S. 12 ff. besprochenen Aufgaben verwenden, insbesondere kann er die geschilderten Netzverfahren ersetzen und an

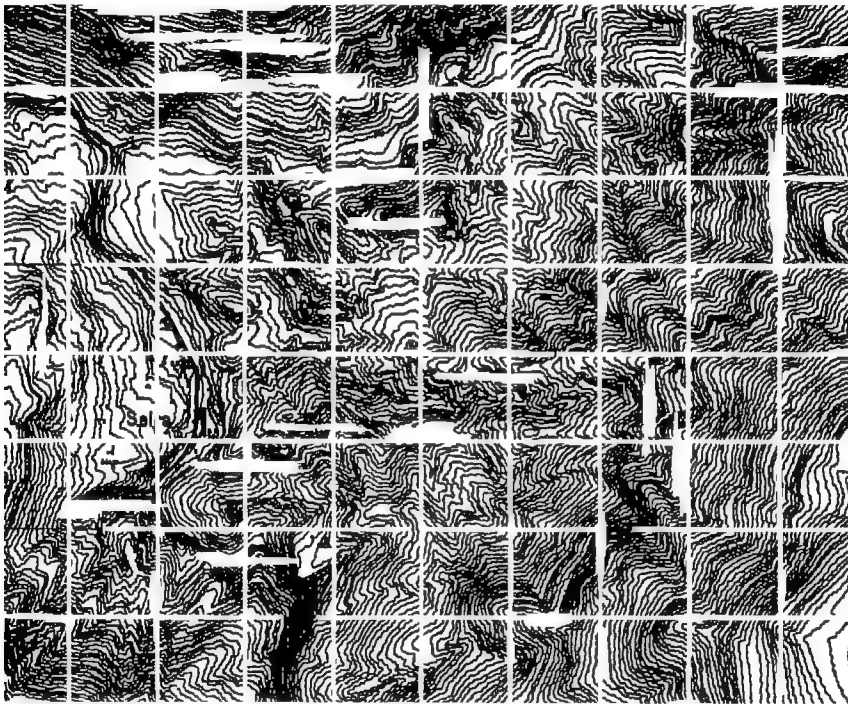


Abb 111 Im Autokartographen hergestellte Karte der Umgebung von Solna (Spanien)

stelle der beschriebenen Entzerrungsgeräte Verwendung finden, denen gegenüber er keinerlei Einschränkungen in der zulässigen Neigung der Aufnahmen aufweist. Bei Aufnahmeneigungen von  $0^\circ$  bis  $15^\circ$  wird der Bildträger auf diese Neigung selbst, bei Neigungen von  $45^\circ$  bis  $90^\circ$  auf das Komplement der Neigung gestellt. Als Kartierungsbasis dient der Höhenunterschied des Aufnahmestandortes gegenüber der Ebene des zu kartierenden Gebietes.

Dieser Höhenunterschied ist bei Neigungen von  $0^\circ$  bis  $45^\circ$  als Skalenabschnitt der Höhenbrücke (Abb 107) und bei Neigungen von  $45^\circ$  bis  $90^\circ$  als Abstand Basisschlittens (Abb 108) im vorgeschriebenen Maßstab einzustellen und während der Zeichnung unverändert zu lassen. Die Ausarbeitung geschieht durch einfaches Entlangführen der Zielmarke des betreffenden Einzelokulars entlang den Situationslinien mittels der entsprechenden Handräder.

**23 Stereoplanigraph nach Bauersfeld** Der im Jahre 1923 von der Firma ZEISS in Jena nach den Angaben von W. BAUERSFELD gebaute Stereoplanigraph<sup>1</sup> ist eine Weiterbildung des SCHIMPFLEUSCHEN Doppelprojektors (S. 82). Die Weiterbildung besteht (vgl. den schematischen Grundriß in Abb. 115) zunächst und im wesentlichen darin, daß vor den Projektionsobjektiven  $O$  optische Zusatzsysteme  $Z$  angebracht sind, die eine scharfe Abbildung der Meßbilder auf die Projektionsebene (Ebene der Einstellmarken  $m$ ) bei jedem beliebigen Stand der letzteren von den Projektoren  $Pr$  gewährleisten. Mit der Einführung dieser Zusatzsysteme ist allerdings (vgl. die auf S. 82 erwähnten Konstruktionen von R. FERBER und H. BOYKOW) notwendig der Nachteil verbunden, daß an Stelle der totalen Projektion eine partielle Projektion der Meßbilder tritt. Die Weiterbildung besteht ferner darin, daß die Meßbilder nebeneinander, sondern, ähnlich wie es auf S. 83 für den Aerosimplex

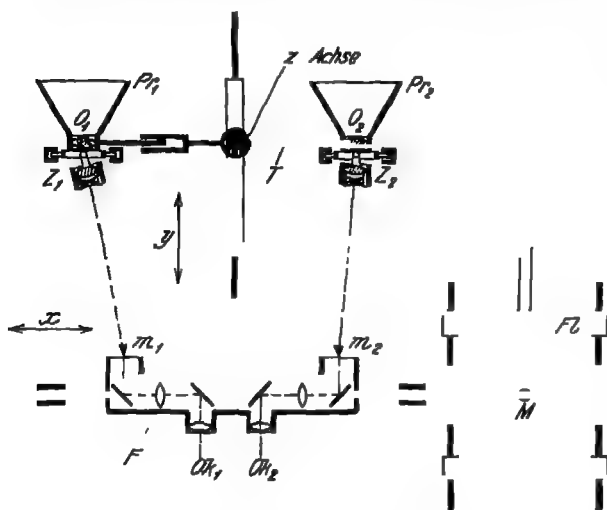


Abb. 115 Konstruktionsschema [des Stereoplanigraphen nach W. BAUERSFELD]

schrieben wurde, nebeneinander auf die Meßkantenbilder  $m$  projiziert und somit durch das okulare Doppelmikroskop  $F$  der stereoskopischen Betrachtung bzw. Messung zugänglich gemacht werden. Zur Einstellung beweglicher Punkte des Raummodells am Verschönbild der Zielmaße sind offenbar die Projektoren gemeinsam und parallel mit sich selbst gegenüber den Zielmaßen im Raum entsprechend verschieben. Die Verschiebung konnte bei festen Marken durch ein reichliches Kreuzschlittensystem erfolgen, wobei ein beliebiger mit den Projektoren verbundener Punkt die scheinbare Bewegung der Raummarke unmittelbar wiedergeben wurde. Der Konstrukteur hat jedoch vorgezogen, die erforderliche gegebene Bewegung zwischen Meßmarken und Projektoren auf beide zu verteilen, zwar so, daß sich letztere nur in einer festen vertikalen Ebene (Höhenbewegung in der  $z$ -Richtung, Abstandsbewegung in der  $y$ -Richtung), die Meßmarken dagegen einer festen wagrechten Geraden (Seitenbewegung in der  $x$ -Richtung) verschieben lassen. Für den Beobachter ist der Effekt der gleiche, dagegen ist jetzt die am Autokartographen vorhandene Möglichkeit verloren gegangen, durch an einem Bewegungsglied — am Autokartographen dem Basisschlitten — festigten Bleistift die Horizontalprojektion eines auf wagrechten oder schiefen Aufnahmen dargestellten Raumgebildes auf einer festen Zeichenebene unmittelbar aufzutragen. So übernimmt beispielsweise in der schematischen Abb. 115 Bleistift  $M$  die Seitenkomponente, die verschiebbare Zeichenebene  $Fl$  aber die Abstandskomponente der Horizontalprojektion der scheinbaren Bewegung.

<sup>1</sup> O. v. GRUBER, ZS f. l. 43, 1923, S. 1, E. DOLEŽAL, Int. Arch. f. l. gramm. 6, 1919/23, S. 255

ummarke. Bei der praktischen Ausführung des Gerätes werden Abstands-, Neigen- und Höhenschlitten durch zwei Handrader und eine Fußscheibe (vgl. die Gesamtansicht in Abb 110) mittels Spindeln angetrieben, die Zeichnung selbst liegt auf einem seitlich stehenden Tisch (Koordinatograph, vgl. auch die Beschreibung des WILDSchen Autographen, S 74) mit fester Zeichenfläche. Der Zeichenstift wird dabei durch einen Kreuzschlitten in Bewegung gesetzt, dessen Motorantrieb mit der Verschiebungsspindel des Meßmarkenträgers (Abszissen- oder y-Spindel) fest gekuppelt ist, während die Spindel für die Abstandsbewegung des Zeichenstiftes bei wagrechten und schrägen Aufnahmen mit der Abstandsspindel (x-Spindel), bei Steil- und Senkrechtaufnahmen mit der Höhenspindel (z-Spindel) verbunden ist.

Die auf dem Trager *T* befestigten Projektoren *Pr* sind um je eine vertikale und eine horizontale, durch die vorderen Hauptpunkte der Projektionsobjektive *O*

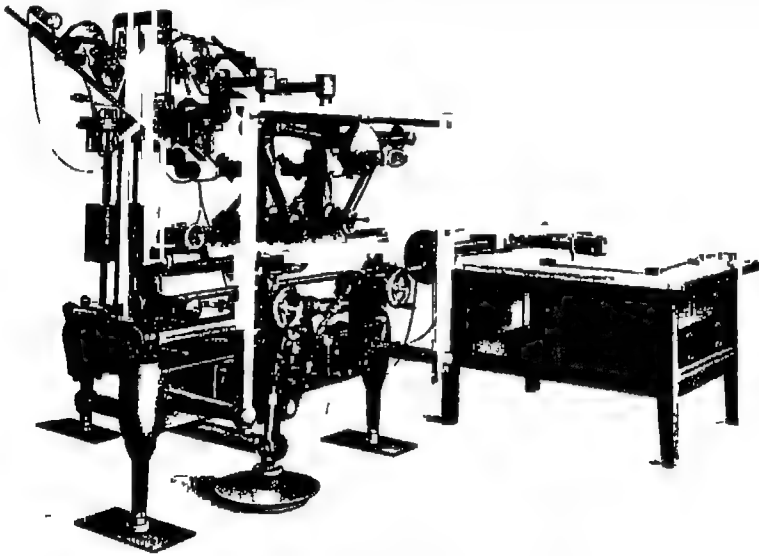


Abb 110 Stereoplanigraph nach W BAUERSFELD

seiner Achse verschwenk- und neigbar, sodaß den Projektoren die gleiche Neigung zum Horizont und die gleiche gegenseitige Richtung gegeben werden können, die den Aufnahmen im Augenblick der Belichtung zukam.

Zur maßstablichen Wiederherstellung der räumlichen Lage der Aufnahmen, und zwar insbesondere ihrer Neigung zur Kartenebene, bedient man sich bei dem gleichen zweckmäßigen Verfahren, von dem schon die früher beschriebenen Geräte — mit Ausnahme des WILDSchen — Gebrauch machten. Man denkt sich die Aufnahmebasis *b* in ihre Komponenten  $b_x$ ,  $b_y$  und  $b_z$  in bezug auf die entsprechenden drei Schlittenrichtungen zerlegt und stellt diese Komponenten nach dem vorgeschriebenen Maßstab im allgemeinen durch entsprechende Verschiebung der Standpunkte ein.

Als solche gelten hier die vorderen Hauptpunkte der Projektionsobjektive  $O_1$  und  $O_2$ . Dementsprechend ist bei der praktischen Ausführung des Gerätes zunächst einer der Projektoren sowohl in der  $y$ - als auch in der  $x$ -Richtung verschiebbar. Die Komponente  $b_x$  ist (vgl. Aerosimplex, Abb 105, S 83) die Differenz der Strecken  $O_1O_2$  und  $m_1m_2$ . Die Einstellung dieser Komponente konnte also wie es die schematische Abb 115 andeutet, durch Verschiebung des Projektors  $Pr_1$  in der  $x$ -Richtung vorgenommen werden. Der Konstrukteur

hat es vorgezogen, die Änderung der Streckendifferenz durch Änderung der Entfernung  $m_1, m_2$  der Meßmarken zu erzielen.

Die Meßmarken sind also nicht nur gemeinsam seitlich, sondern auch gegen einander verschiebbar. Daraus und aus der im Interesse einer bequemen Beobachtung zu stellenden Forderung, trotz der gemeinsamen seitlichen Bewegung der Meßmarken die Okulare  $Ok$  unveränderlich fest zu lagern, ergaben sich beträchtliche Komplikationen im optischen Aufbau des Betrachtungsmikroskops (vgl. Abb. 117), das jetzt die Form eines Scherenfernrohres angenommen hat dessen beiderseitige Arme nicht nur mehrfach in sich knickbar (Teile  $A$  und  $B$ ) sondern auch noch um zwei winkelmäßig zueinander stehende Achsen drehbar (Teile  $C$  und  $D$ ) sein müssen. Die drehbaren Teile, die sogenannten „optischen Cardangelenke“,<sup>1</sup> die in der schematischen Abb. 117 nur unvollständig wieder

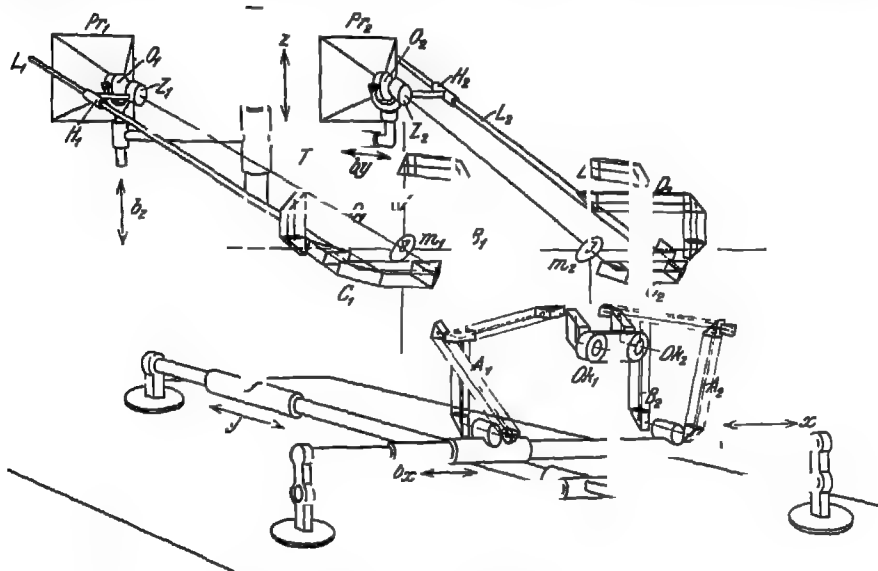


Abb. 117 Der optische Aufbau des Stereoplanigraphen nach W. HAUENFELD

gegeben werden konnten (es fehlen je zwei zwangsläufig angetriebene Umkehrprismen), sind notwendig, um die auf die Meßmarken  $m$  auffallenden Strahlen in die Richtung der Ziellinien des Betrachtungssystems zu bringen.<sup>2</sup> In Abb. 11 sind auch die als räumliche Lenker ausgebildeten Steuerorgane  $L$  angedeutet, durch welche die cardanisch um den vorderen Hauptpunkt der Objektive  $O$  drehbaren Zusatzsysteme  $Z$  (vgl. auch Abb. 115) und die oben erwähnten, die Meßmarken  $m$  tragenden optischen Cardangelenke aufeinander eingestellt werden.

Bei Abstandsänderungen der Projektoren gleitet jeder Lenker  $L$  in einer Führungshülse  $H$ , die an dem entsprechenden Zusatzsystem befestigt ist,

<sup>1</sup> D. R. P. Nr. 346027

<sup>2</sup> Eine dem Stereoplanigraphen sehr ähnliche Einrichtung wurde der englischen Firma A. BARR & W. STROUD patentiert (E. P. Nr. 273388/1926). Da hier die Projektoren durch ein räumliches Kreuzschlittensystem bewegt werden und die Einstellung von  $b_x$  am Projektorträger erfolgt, so stehen die Meßmarken fest und das Betrachtungssystem wird sehr einfach. Da hier ferner die projizierten Bilder auf einer durchscheinenden Fläche aufgefangen werden, also nicht sogenannte Luftbilder sind, wird auch das optische Cardangelenk überflüssig.

sem muß zur Erreichung der scharfen Abbildung die Negativlinse gegen die Positivlinse um eine Strecke verschoben werden, die nach einem bestimmten Gesetz von dem jeweiligen Abstand des Projektors von der entsprechenden Marke abhängt. Man hat deshalb den Lenkern eine veränderliche, jenem Gesetz entsprechende Dicke gegeben, so daß ein in der Führungshülse anbrachter, auf dem Lenker aufliegender Hebel beim Hindurchgleiten des Lenkers eine entsprechende Linsenverschiebung bewirkt.

Bei der oben beschriebenen SCHMPPFLUGSchen Doppelprojektion werden Herstellung des auszumessenden optischen Modells die aus den Objektiven

Projektoren austretenden Lichtstrahlen selbst und unmittelbar benutzt, d. h. zwischen Projektorobjektiv und Durchstoßpunkt des Lichtstrahles in der Projektionsebene befindet sich keinerlei irgendwie geartetes Zwischenstück, das aus mechanischen oder optischen Gründen eine Richtungsänderung des projizierenden Strahles erzeugen könnte.

Dieser bedeutsame Vorzug kommt dem Stereoplanigraphen nicht zu. Man ersieht aus der Gegenüberstellung beider Konstruktionen in Abb 118, daß an Stelle der absoluten Geraden

der optischen Achse des SCHMPPFLUGSchen Verzeichnisses beim Stereoplanigraphen ein Strahlenverlauf getreten ist, der sowohl in den Cardangelenken  $C_1$  und  $C_2$  als auch in der Führung der Negativlinse  $L$  eine allseitige Verschwenkung bzw. Knickung erfahren kann.

Soll keine der durch die erwähnten Fehlerquellen bedingten Richtungsabweichung die Grenze von  $1'$  überreiten, so läßt sich leicht zeigen, daß zunächst die Schnittpunkte der Cardanachsen innerhalb  $0,023$  mm sicher lagern müssen. Hinsichtlich der

Position der Negativlinse des Zusatzsystems, deren Abstand von der Positivlinse nur  $40$  mm beträgt, ist zu fordern, daß ihre optische Achse mit der Achse der Positivlinse zusammenfällt und sich so verschiebt, daß seitliche Abweichungen der Negativlinse unterhalb von  $0,012$  mm bleiben.

Damit ist die BAUERSFELDSche Einrichtung hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit auch im günstigsten Falle den beim Stereosautographen und Autographen als Verkörperung der Lichtstrahlprojektionen verwendeten starren Geraden nur gleichwertig. Für die Drehachsen dieser Lineale bzw. der sie stützenden Gleitrollen gelten nämlich die gleichen Genauigkeitsanforderungen, hinsichtlich der Geradheit der Linealkanten wird sogar nur  $0,023$  mm gefordert. Dabei muß noch zu bedenken, daß sich bei den stabil gelagerten vertikalen Drehachsen der Lineale die angegebenen Anforderungen wesentlich leichter erfüllen lassen als beispielsweise bei den Cardanachsen der Meßmarken (vgl. Abb 117, Teile  $C$  und  $D$ ).

Der Stereoplanigraph verwendet also zur Rekonstruktion keineswegs Lichtstrahlen im Sinne der starren Geraden am SCHMPPFLUGSchen Doppelprojektor, er stellt demnach in dieser Beziehung keinen Fortschritt gegenüber den Geräten mit starrer Verkörperung der Lichtstrahlen dar.<sup>1</sup> Mit der von

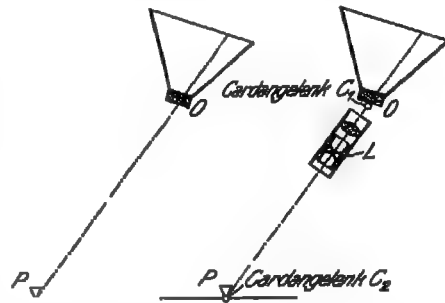


Abb 118 Gegenüberstellung Der projizierende Strahl beim Doppelprojektor und beim Stereoplanigraphen

<sup>1</sup> Die von O v GRUBER a a O, S 2, ausgesprochene gegenteilige Behauptung nach den eben gemachten Ausführungen unzutreffend. O v GRUBER betont nur die Kürze der Geradföhrung, erwähnt dabei aber nicht die höheren Anforderungen an diese und den Einfluß der Cardanachsen.

BAUERSFELD angegebenen Einrichtung wird nur das gleiche Ergebnis,<sup>1</sup> aber komplizierterem Wege erzielt

Bei stark verschwenkten Aufnahmen sind die Entfernungen des Ob von den Standpunkten und damit auch die Größen der Teilbilder mer verschieden. Zur Erzielung eines einwandfreien stereoskopischen Effektes deshalb die dem Beobachter darzubietenden Bildelemente auf gleiche Grö bringen. Das geschieht bei der SCHIMPFLEUSCHEN Doppelprojektion mit maßstäblichen Wiederherstellung des Objekts von selbst, es geschieht z läufig auch bei Verwendung von scharf abbildenden Zusatzsystemen. Bei nicht auf dem Doppelprojektionsverfahren beruhenden Geräten wird die Gl heit der Bildgrößen durch Anwendung einer veränderlichen Vergrößerung Betrachtungssystems (vgl. Aerokartograph, Abb. 119 sowie S. 102) erzielt.

Die letztere Einrichtung ist übrigens vorteilhafter, da man bei der Reg der Bildgröße auf die Größe des Plattenkorns Rücksicht nehmen und bei Kartierung der ferngelogenen Objektteile einer wagrechten oder schrägen nahme eine hier zweckmäßige geringe allgemeine Vergrößerung wählen l

24. Aerokartograph nach HUGERSHOFF. Der von der Firma G. HEY Dresden nach Angaben von R. HUGERSHOFF<sup>2</sup> gebaute Aerokartograph<sup>4</sup> v 1926 in die Praxis eingeführt. Das Instrument beruht auf dem gleichen P wie der Autokartograph (Abb. 107, S. 86). Dementsprechend dient zur stellung beliebiger Bildpunkte auf den Meßbildern *B* (vgl. die schema Abb. 119) ein unveränderlich wagrecht gelagertes Doppelperskopt *F*, wob vor den Fernrohrobjektiven angeordnet, um eine wagrechte Achse kipp Reflektoren *R* die Einstellung der Neigung der Bildstrahlen übernehmen, wa die Einstellung der horizontalen Richtung dieser Strahlen durch eine entspre

<sup>1</sup> Vgl. hierzu die neueste vergleichende Genauigkeitsuntersuchung des kartographen und des Stereoplanigraphen durch das Reichsamts f. Landesaufn. in Berlin FR. SEIDEL, Mitt. d. Reichsamts f. Landesaufn., Berlin 1928.

<sup>2</sup> Durch die, wie wir eben sahen, nicht nur am Stereoplanigraphen vorher Möglichkeit zur gegenseitigen Abstimmung der Bildgrößen wird selbstverst die Fähigkeit der Augen, aufgenommene Objekte stereoskopisch zu erfassen gewisse—vor allem durch die Konvergenz der aufnehmenden Strahlen—bedingte zen nicht erweitert. Insbesondere ist die Bemerkung O. v. GRUBERS (a. a. C. und Bildmess. u. Luftbildwes., 4, 1928, S. 144), daß mit der BAUERSFELDSCHEN ordnung auch Aufnahmen stereoskopisch ausgearbeitet werden können, die keinen Stereoeffekt mehr ergeben würden, in der oben geschilderten optische richtung keineswegs begründet. Die v. GRUBERSCHES Behauptung gibt auch F. WALDER (Taschenb. d. Landmess. u. Kulturtechn., Stuttgart 1929, S. 327) w er geht offenbar von der irrigen Ansicht aus, daß bei den anderen Auswertg der Beobachter bei konvergenter Zielstrahlenrichtung zu einer „unnatürlichen / stellung“ gezwungen wäre. FINSTERWALDER übersieht dabei völlig, daß bei lichen stereoskopischen Meßgeräten mit ihren unveränderlich in der Mit Okulargesichtsfeldes bleibenden Zielmarken der Beobachter die Zielrichtungen unabhängig von deren Konvergenz im Objektraum mit parallelen Augenac nimmt.

<sup>3</sup> Nur von HUGERSHOFF, nicht von WOLF und HUGERSHOFF, wie J. M. T. und O. v. GRUBER in den Ann. de la Soc. de Etud. fotogr. 1, 1928, S. 60 wol sehnlich angegeben.

<sup>4</sup> R. HUGERSHOFF, Der Aerokartograph, eine neue Ausführungsform des kartographen, Vorträge, gehalten im Nov. 1926 auf der 2. Hauptvers. d. S. Deutschland d. Int. Gesellsch. f. Photogramm. Berlin 1927, II. GRUNER, Der kartograph nach Prof. Dr. Ing. HUGERSHOFF, Stuttgart 1929, P. GAST, Allg. Nachr. 41, 1929, E. A. SHUSTER jr. und E. HAQUINIUS, Manual of instructions for ting the HUGERSHOFF Aerocartograph, U. S. A. Geol. Survey, Washington 19

hebung der unter beliebiger Neigung zum Horizont einstellbaren Bildträger  $T$  an ihre vertikalen Achsen  $V$  geschieht<sup>1</sup>

Der wesentliche Unterschied und zugleich Fortschritt gegenüber der Konstruktion des Autokartographen besteht darin, daß an Stelle der Verkörperung der vier Projektionen der Zielstrahlen (Abb 108, S 88), die Verkörperung dieser Zielstrahlen selbst tritt. Es werden also zur Aufsuchung der Einstellung zugehöriger Bildpunkte zwei Raumlenker  $L$  benutzt, ähnlich denen,

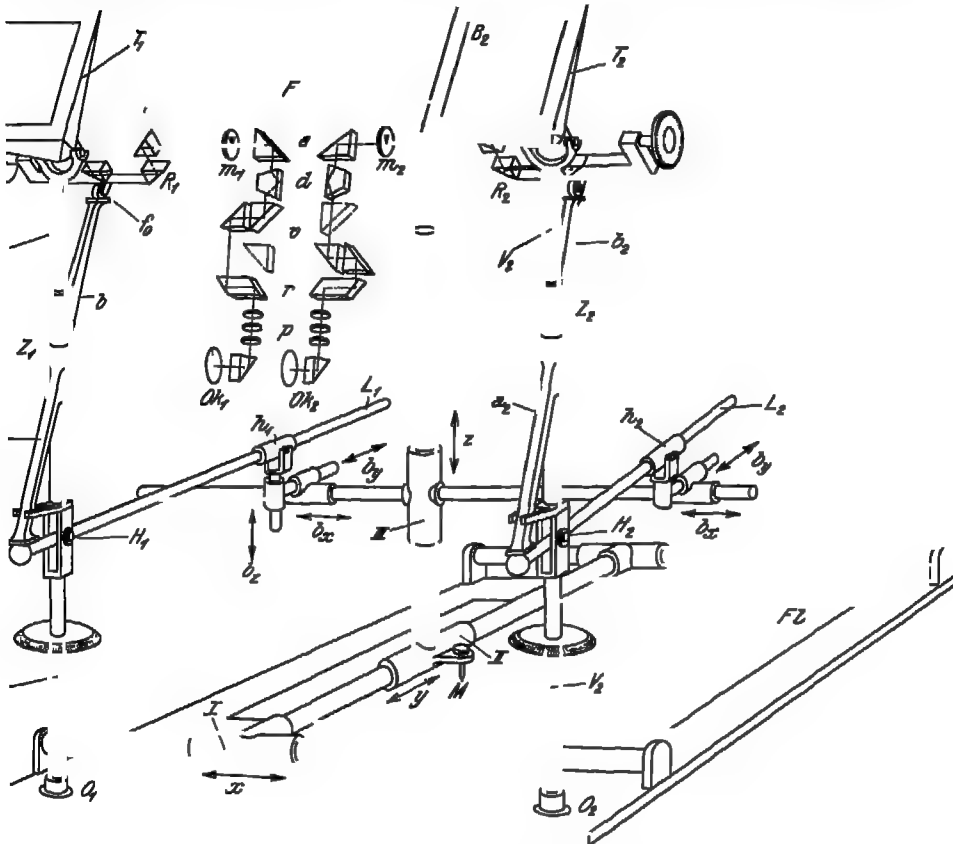


Abb 110 Konstruktionsschema des Aerokartographen nach R. HUGERSHOFF

wie sie beim WILDSchen Autographen (S 73) Verwendung finden. Dabei war eine neue Aufgabe zu lösen, nämlich die, die jeweilige räumliche Richtung des Lenker in ihre horizontale und vertikale Komponente (Richtungs- und Neigungswinkel) zu zerlegen und diese Komponenten zwangsläufig auf die entsprechenden Bildträger  $T$  und Eintrittsreflektoren  $R$  zu übertragen.

Die Lösung dieser Aufgabe ist aus Abb 119 ersichtlich. Die Raumlenker  $L$  lassen sich, ähnlich wie der Fernrohrkörper eines Theodolits, um die vertikalen Achsen (Stehachsen)  $V$  und kippen um die horizontalen Achsen  $H$ , Dreh- und Neigungswinkel entsprechen somit den gesuchten Richtungskomponenten, von

<sup>1</sup> D R P Nr 361154

<sup>2</sup> D R P Nr 452231, D R P Nr 470387 und D R P Nr 485571



denen sich die erstere unmittelbar auf den entsprechenden Bildträger  $T$  trägt, da hier die Stehachsen  $V$  der Raumlenker mit den Stehachsen der Bildträger identisch sind. Längs jeder Stehachse gleitet ein Zwischenstück  $Z$ , dessen untere Fläche  $f_u$  auf der rückwärtigen Verlängerung des Raumlenkers aufliegt, während der Eintrittsreflektor  $R$  auf der oberen Fläche  $f_o$  des Zwischenstücks ruht, infolgedessen setzt sich jede Kippbewegung des Raumlenkers in eine Gleitbewegung des Zwischenkörpers um, die wiederum eine Kippbewegung des Eintrittsreflektors zur Folge hat. Dabei entspricht der jeweilige Kippungswinkel des Lenkers genau dem jeweiligen Kippungswinkel des Reflektors, wenn

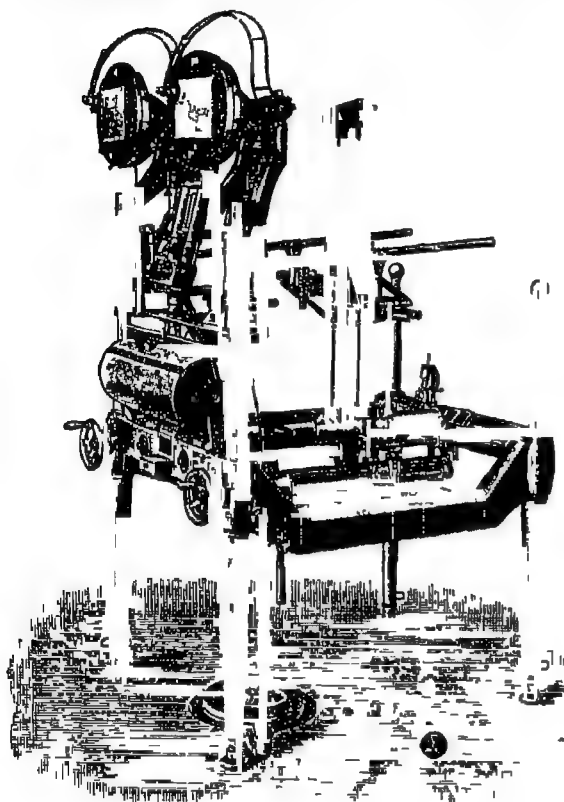


Abb. 120 Aerokartograph nach R. HUGERSHOFF

der Abstand der Auflageflächen  $f_o$  und  $f_u$  gleich dem Abstand der Kippachsen der Reflektoren  $R$  und Lenker  $L$  ist und wenn Punkte, in denen Raumlenker und Reflektor entsprechenden Auflageflächen berühren, gleiche Abstände von der Stehachse  $V$  haben. Zur Erfüllung dieser Bedingung läßt sich die Auflagefläche  $f_o$  vertikal verschieben, die Länge des Hebels, mit dem der Reflektor der Fläche  $f_o$  aufliegt, entsprechend regulieren.

Da der Reflektor  $R$  eine festgelagerte wagerechte Achse kippt, die Neigung des Lenkers dagegen die wagerechte Achse  $H$  folgt, die beliebige Richtungen einnehmen kann, besteht das Zwischenstück  $Z$  aus den beiden gegenüber einander verdrehbaren

Teilen  $a$  und  $b$ . Teil  $a$  wird vom Raumlenker auch seitlich mitgenommen, daß er in bezug auf die Stehachse nur eine Gleitbewegung ausführt. Teilstück  $b$ , das hulsenförmig über einem zylindrischen Fortsatz des Teilstücks  $a$  steckt, wird durch eine (in Abb. 119 nicht wiedergegebene) Vorrichtung einer Drehung im Raum verhindert, er verdreht sich nur relativ zum Teil  $a$ , mit dem er gemeinsam entlang der Stehachse  $V$  gleitet, ohne diese zu berühren. Die Verdrehung des Teiles  $b$  gegen den Teil  $a$ , ebenso wie die Gleitbewegung Teiles  $a$  gegen die Stehachse  $V$ , wird durch Verwendung von Kugellagern praktisch reibungslos gemacht.<sup>1</sup>

Die Aufsuchung bzw. Einstellung beliebiger Paare von identischen

<sup>1</sup> Über eine weitere Sonderanordnung, die eine hemmungslöse Übertragung Neigungswinkel auch bei starker Aufnahmeneigung gewährleistet, vgl. die S. 98 angeführten Abhandlungen.

unkten geschieht durch eine entsprechende gemeinsame Richtungsänderung der Lenker. Die Richtungsänderung erfolgt durch die Basisbrücke *III*, mit der die beiden Lenker verbunden sind und die mit Hilfe eines räumlichen Kreuzschlittens parallel mit sich selbst beliebig verschoben werden kann. Die drei Schlitten (Seiten- oder *x*-Schlitten *I*, Abstands- oder *y*-Schlitten *II* und Höhen- oder *z*-Schlitten *III*) werden bei der praktischen Ausführung des Gerätes (Abb 120) wieder durch zwei Handräder und eine Fußscheibe betätigt.

Als Verbindungsglieder der Lenker mit der Basisbrücke dienen die Hülzen *h*, innerhalb deren die Lenker gleiten. Die Hülzen lassen sich um je eine wagrechte id senkrechte Achse drehen, deren Schnittpunkte die Aufnahmestandpunkte ähnlicher Weise vorstellen, wie es für den Stereoaerographen (S 68) beschrieben wurde. Die dort gezeigte Abb 89 ist gleichsam die Grundrißprojektion der entsprechenden Einrichtung am Aerokartographen.

Die Standpunkte sind in den drei Achsrichtungen des Gerätes verschiebbar, daß mit Hilfe dieser Verschiebungseinrichtungen die Komponenten der Aufnahmebasis *b* in bezug auf die Achsrichtungen des Gerätes (nämlich  $b_x$ ,  $b_y$  und  $b_z$ ) abstäblich eingestellt werden können. Da hier ebenso wie an den früher beschriebenen Universalgeräten und am Wildschen Aerographen bei Senkrechts- und Steilaufnahmen die Bildträger auf das Komplement der Aufnahmeneigung eingestellt werden, an Stelle der durch  $O_1$  und  $O_2$  (Apparatabasis) gedachten Horizontalebene also die Vertikalebene durch diese Punkte als Kartierungsebene tritt, wird bei wagrechten und schrägen Aufnahmen ein Höhenunterschied der Aufnahmestandpunkte durch  $b_x$ , bei Steil- und Senkrechtsaufnahmen aber durch  $b_y$ , wiedergegeben.<sup>1</sup>

Abweichungen (Verschwenkungen) der Aufnahmerichtungen von der senkrechten zur Basis (bei wagrechten und schrägen Aufnahmen) und von der senkrechten (bei Senkrechts- und Steilaufnahmen) werden durch entsprechende Verschwenkung der Bildträger<sup>2</sup> berücksichtigt, die zu diesem Zweck gegen ihre Achsen beliebig verdrehbar und mit ihnen verklebbar sind.

Da hier im Gegensatz zu B zum Stereoplanigraphen jeder Punkt der im Raum allseitig verschiebbaren Aufnahmebasis eine der scheinbaren Bahn der Raummarke kongruente Bahn beschreibt, wird ein am Abstandsschlitten *II* fester Bleistift *M* auf der im Apparat selbst liegenden Zeichenfläche *F* bei wagrechten und schrägen Aufnahmen unmittelbar die Horizontalprojektion der eingestellten Modellpunkte aufzeichnen, wobei diese Aufzeichnung von einem waagrecht toten Gang der Antriebsspindeln unbeeinflusst ist. Auch die Ausarbeitung von Senkrechts- und Steilaufnahmen kann auf der im Apparat liegenden Zeichenfläche erfolgen. Bei der praktischen Ausführung des Gerätes ist die Antriebsspindel für die Vertikalbewegung des Höhenschlittens *III* parallel neben die Gleitbahn des Abstandsschlittens *II* gelegt und mit dieser Gleitbahn gemeinsam seitlich verschiebbar.<sup>3</sup> Lost man also den Bleistift *M* vom Schlitten *II* und kuppelt ihn durch eine Mutter mit der erwähnten Antriebsspindel des Höhenschlittens, so gibt er die Projektion der jeweiligen Stellung der Raummarke auf die vertikale *xx*-Ebene des Apparates, im vorliegenden Falle also auf die Kartenebene für jene Aufnahmen wieder. Außer der besprochenen ebenen Zeichenfläche besitzt der Aerokartograph — ähnlich wie der Autokartograph, S 91 — eine zylindrische Zeichenfläche (Abb 120), auf der die Rekonstruktion jeder Art von Aufnahmen unmittelbar unter den Augen des Beob-

<sup>1</sup> Vgl. S 184, Anm 1

<sup>2</sup> Über wichtige Sondereinrichtungen an diesen vgl. S 178 und die auf S 98 gegebenen Abhandlungen

<sup>3</sup> Vgl. die auf S 98, Anm 4 angegebenen Abhandlungen

achters erfolgt, wobei ganz nach Wunsch durch eine einfache Schaltung d zweite Karte im gleichen oder im doppelten Maschinenmaßstab ausgearbe werden kann. Außerdem kann das Gerät selbstverständlich auch mit ein Koordinatographen (S 74 und S 95) gekuppelt werden.

Die Höhen der Objektpunkte können sowohl an Skalen, die an der Gl bahn des  $z$ -Schlittens *III* (wagrechte und schräge Aufnahmen) bzw des Schlittens *II* (Senkrecht- und Steilaufnahmen) angebracht sind, oder an ein Zahlwerk abgelesen werden, letzteres gibt die Höhenzahlen unmittelbar in Maß auch bei verschiedenen Kartierungsmaßstäben.

Ebenso einfach wie der mechanische Aufbau des Gerätes ist seine Konstruktion in optischer Beziehung. Jedes der beiden Einzelfernrohre zeigt: Teile das eigentliche Meßfernrohr (innerhalb des Eintrittsreflektors) und Betrachtungsfernrohr. Das Meßfernrohr besteht im wesentlichen aus ein (in der schematischen Abb 119 nicht gezeichneten) Objektiv und der nahe Brennpunkt dieses Objektivs liegenden Meßmarke  $m$ , auf der sich das eingest

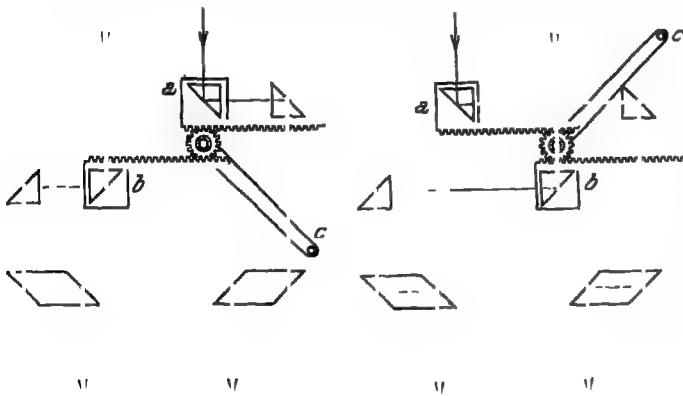


Abb 121 und 122

Richtung zur Umkehrung des Stereoeffektes nach R. HUGERSHOFF

lenführung im Betrachtungsfernrohr ohne jeden Einfluß auf die Präz der Messungen eine etwaige Verlagerung des Zielstrahles durch die in trachtungsfernrohr untergebrachten beweglichen Teile verlagern Bild Meßmarke gemeinsam.

Dieser sonach unempfindliche Teil des optischen Systems besitzt zum ein (in Abb 119 nicht gezeichnetes) Objektiv, das zwischen dem Eckprisma und der Meßmarke  $m$  so angeordnet ist, daß sein Brennpunkt mit  $m$  zusammenfällt. Infolgedessen sind die aus dem genannten Objektiv austretenden Strahlen parallel. Sie durchlaufen das Eckprisma  $e$ , das mit dem Reflektor durch Kegelradgetriebe zwangsläufig verbunden, mit der halben Winkelgeschwindigkeit des Reflektors sich drehende bildaufrichtende Dove-Prisma  $d$  (vgl. Kartograph, S 91), das System der Verschiebeprismen  $v$  (s. u.), die Rhoisprismen  $r$  und treffen auf das Objektivsystem  $p$  eines pankratischen<sup>1</sup> Rohres, das nun nahe der Brennebene der Okularlupe  $Ok$  ein reelles Bild ent dessen Größe durch gegenseitige Verschiebung der Einzuteile des Systems kontinuierlich so geändert werden kann, daß die Vergrößerung des gesamten Systems zwischen den Grenzen 2fach und  $4\frac{1}{2}$  fach beliebig wählbar

<sup>1</sup> C. v. HOLT, Fernoptik, S 97

<sup>2</sup> Über die Vorteile dieser Einrichtung vgl. S 98

Bildelementabbild Fehlerquellen für Messung können in diesem kippbaren Teile des Betrachtungssystems auftreten, die durch die gegenseitige Lagerung Reflektorkörpers durch infolge der Kurve stabile Konstruktion verhindern ihr Wirksamwerden.

Im Gegen zum Meßfernrohr eine etwaige Sicherheit in der S

Beide Okulare besitzen neben einer Regulierbarkeit ihres horizontalen Bestandes die für eine zwangsfreie stereoskopische Beobachtung unerläßliche, in S 58 beschriebene Einrichtung zur Verlagerung der Austrittspupillen auch im vertikalen Sinne

Die oben erwähnte verschiebbare Prismenanordnung,<sup>1</sup> die in den Abb 121 und 122 besonders dargestellt ist, gestattet, — je nach Bedarf — das linke und rechte Bild normalerweise den entsprechenden Augen oder aber das linke Bild dem rechten Auge und umgekehrt zuzuleiten. Die Verschiebung der Prismen *a* und *b*, die also eine Umkehrung des Stereoeffektes ergibt, geschieht durch eine kurze Bewegung des Hebels *c*. Diese Möglichkeit zum raschen Wechsel zwischen positivem und negativem Stereoeffekt hat besondere Vorzüge z. B. bei der Aufnahme von nahezu senkrecht aufgenommenen Waldgebieten. Bei der Umhaltung verschwinden gleichsam die bei der Abtastung des Erdbodens störenden Unebenheiten im Boden, so daß die der Meßmarke zugänglichen Oberflächenteile deutlich hervortreten.

Außerdem wird es mit Hilfe dieser Einrichtung möglich, die Einzelaufnahmen einer Bildreihe fortlaufend auf optisch-mechanischem Wege aneinander zu passen, ohne daß eine Umlegung der Meßbilder oder ihre Drehung (mit entsprechenden Neueinstellungen) im Bildträger notwendig wird, durch die auf den Fall die Feinheiten der vorhergehenden relativen und absoluten Orientierung zerstört werden. Über die durch diese Einrichtung geschaffene Möglichkeit zur Durchführung einer Aerotriangulation vgl. S 193ff.

Das Gerät kann infolge seines kompakt gebauten, auch die Zeichenvorrichtung enthaltenden Aufbaues von einem einzigen Mann bedient werden, der zudem sämtliche Einstellungen unmittelbar von seinem Sitz aus vornehmen kann. Dies ist von besonderer Bedeutung für eine rasche und präzise Durchführung der optisch-mechanischen Orientierung von Bildpaaren (s. S 183ff).

## VI. Aufnahmegeräte

### A. Allgemeines

25. Hilfsmittel zur Festlegung der inneren Orientierung der Kammern. Die Notwendigkeit, für jede beliebige, mit derselben Kammer hergestellte Aufnahme die Lage des erhaltenen Meßbildes zum Zentrum der Perspektive (vgl. S 9) und besonders S 159) im Augenblick der Belichtung angeben zu können, erfordert zunächst einen starren, aus Metall hergestellten Kammerkörper *K* (Abb 123), gegen dessen hintere Rahmenformige Begrenzung, den Bildrahmen *R*, die lichtempfindliche Schicht *S* vor der Belichtung möglichst anzupressen ist. Diese Anpressung erfolgt im allgemeinen durch einen Druck auf den Kassettenrahmen *R'*, bis zum Einschnappen einer Arretiervorrichtung, wobei eine oder mehrere in der Kassette angebrachte Federn *F* viel Spielraum gewahren, daß die Bildplatte nicht zerdrückt werden kann. Nach dem Lösen der Arretiervor-

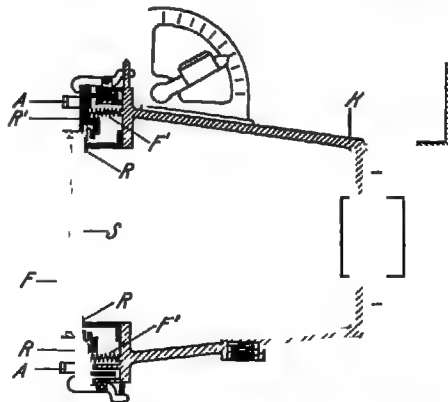


Abb 123 Konstruktionsschema einer Meßkammer

<sup>1</sup> D. R. P. Nr. 459863.

richtung drücken die Federn  $F'$  den Kassettenrahmen wieder bis zu den schlägen  $A$  zurück, so daß sich der Kassettendeckel wieder einführen und Kassette entfernen läßt. Der Bildrahmen wird vom Hersteller zwecks Erziel einer in allen Teilen scharfen Abbildung tunlichst so geschliffen, daß seine Ebene parallel zu den Objektivebenen ist.

Wichtiger noch als der Bildrahmen sind die zweckmäßig in ihm oder seiner Ebene anzubringenden Bildmarken, die sich bei dieser Anordnung als Silhouetten auf der Aufnahme abbilden. Die Bildmarken sollen die feiner kreisförmiger Locher oder bei Verwendung einer im Kammerkörper angebrachten Planglasplatte als Anpreßfläche für Filme (vgl. S. 125) die feineren Kreise mit Punkten im Zentrum haben<sup>1</sup>. Sie sollen ungefähr in den Seitenmitten des Bildrahmens (nicht in dessen Ecken) angebracht und so justiert sein, daß ihre Verbindungslinien winkelrecht aufeinander stehen und der Schnittpunkt der Verbindungslinien mit dem Hauptpunkt der Rahmenebene zusammenfällt (S. 157). Bei ausschließlich terrestrisch verwendeten Kamern (Kamern mit fester Aufstellung) wird außerdem gefordert, daß die Verbindungslinie einer der beiden Markenpaare ( $hh$ -Linie) winkelrecht zur Stehachse der Kamera ( $s$  u.) verläuft (Bildhorizont oder Haupthorizontale).

Bei einzelnen Kammerkonstruktionen werden die Bildmarken auf der Aufnahme dadurch erzeugt, daß in der Kammer angebrachte kleine Hohlspiegelobjektive eine auf oder im Kammerobjektiv befindliche kreisförmige Marke im Augenblick der Belichtung auf der Aufnahme abbilden<sup>2</sup>. Eine derartige Einrichtung erfordert<sup>3</sup> jedoch die exakte Bestimmung der Konstanten (der Öffnungswinkel) der Meßkammer durch unmittelbare Messungen an dieser, vgl. S. 162.

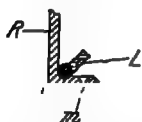


Abb. 124. Belichtung der Bildmarken nach R. HUGERSHOFF

Bei Aufnahmen des Sternhimmels (S. 34) oder bei Aufnahmen von Geschöbshahnen (vgl. S. 141) sind die Bildmarken besonders sichtbar zu machen, das kann in einem Vorschlag der Firma CARL ZEISS durch vorhergehende kurze Allgemeinbelichtung der Platte oder nach einer Konstruktion von R. HUGERSHOFF durch mit Leuchtmasse  $L$  (Abb. 124) versehene Plättchen geschehen, die der Bildrahmen  $R$  wegschlagbar und so befestigt sind, daß die Leuchtmasse im Gebrauch unmittelbar hinter der Bildmarke  $m$  zu liegen kommt.

**26. Hilfsmittel zur direkten Bestimmung der äußeren Orientierung der Aufnahmen.** Meßkamern, die ausschließlich für terrestrische Aufnahmen bestimmt sind und darum fest aufgestellt werden können, erhalten zunächst vertikale Drehachse (Stehachse), die entweder fest mit dem Kammerkörper (Kamern mit fester vertikaler Bildebene, Photogrammeter) oder mit einer gabelförmigen Lager verbunden ist, in dem die Kammer mittels einer weitgehend horizontalen Achse (Kippachse) ruht (Kamern mit neigbarer Ebene, Phototheodolite). Die Stehachse wird, ähnlich wie beim Theodolit

<sup>1</sup> Spitzen als Bildmarken sind ungeeignet, bei nicht genau am Bildrahmen liegendem Meßbild läßt sich die unscharfe Abbildung der Spitzen nicht vermeiden. Im Gegensatz zu kreisförmigen Marken als Bildmarken, bei denen der Mittelpunkt sich ergebenden (unscharfen) Ellipse genau dem Kreismittelpunkt an der Kamera bildmarke entspricht.

<sup>2</sup> Fa. CARL ZEISS, Jena, D. R. P. angem. Z. 9520, Kl. 57a, vom 3. Jan.

<sup>3</sup> Die von S. FISTERWALDER behauptete Notwendigkeit der Verwendung solcher optisch erzeugter Bildmarken (vgl. Taschenrechner d. Landmesser u. Kulturt. S. 325, Stuttgart 1929) liegt nicht vor.

<sup>4</sup> D. R. G. M. Nr. 720191

Büchse eines Dreifußuntergestells gelagert, das auf einem Stativ zu befestigen. Die Orientierung der Aufnahmerichtung einer solchen Kammer zunächst Lotlinie erfolgt selbstverständlich mittels Libelle, die bei Photogrammetern in fester Verbindung mit dem Kammerkörper steht und so zu justieren, daß ihre Achse winkelrecht zur Ebene des Bildrahmens steht. Bei Phototheodoliten wird zweckmäßig neben einer mit der Stehachse fest verbundenen Libelle eine weitere Libelle verwendet, die fest mit der Alhidade des Höhenkreises verbunden ist, an dem die Neigung der Bildebene abzulesen ist. Die Richtung Aufnahme wird im allgemeinen an einem horizontalen Teilkreis abgelesen, an der Büchse des Dreifußunterbaues oder bei Photogrammetern auch am Kammerkörper befestigt sein kann. Als Ausgangsrichtung wählt man dabei Richtung nach einem beliebigen, seiner Lage nach bekannten Punkt (Basispunkt, trigonometrischer Punkt), dessen Einstellung mit Hilfe eines Fernrohres geschieht, das im allgemeinen mit der Kammer verbunden ist. Bei Photogrammetern findet man bisweilen auch eine am Kammerkörper angebrachte Libelle zur Bestimmung der Aufnahmerichtung gegen den (magnetischen) Meridian.

Die Stellung der Kammerachse zu den Orientierungseinrichtungen wird einigen Instrumenten nicht abgelesen, sondern selbsttätig photographisch festgelegt. So bildet sich z. B. bei dem Photogrammeter von BRIDGES-LEE (Abb. 149)<sup>2</sup> die Stellung eines auf einer Magnetnadel befestigten transparenten Teilkreises gegen die *vv*-Linie auf dem Meßbild ab. Bei Kammern zur photogrammetrischen Festlegung von rasch bewegten Objekten (Phototheodolite zur Bestimmung der Flugbahn z. B. von Pilotballonen<sup>3</sup>) wird bisweilen sowohl Horizontal- als auch der Vertikalkreis mitsamt der entsprechenden Ableserichtung und außerdem zumeist noch die Stellung der Zeiger einer Uhr im Augenblick der Beobachtung auf die Aufnahme abgebildet. Ein besonders einfaches Verfahren für diesen speziellen Zweck wurde von P. RAFFETJEN angegeben.<sup>4</sup> Seine beliebig neigbare Aufnahmekammer besitzt ein in der richtigen Verlängerung der optischen Achse des eigentlichen Aufnahmeobjektivs angeordnetes zweites Objektiv. Während das erste Objektiv das bewegte Objekt abbildet, bildet das zweite Objektiv gleichzeitig und auf das gleiche Bildfeld die Gradenteilung einer (Halb-)Kugel ab, die unabhängig vom Phototheodolit zentrisch zum Schnittpunkt seiner Steh- und Kippachse aufgestellt ist. Die Bestimmung des Standpunktes der Aufnahme nach Lage und Höhe erfolgt nach den üblichen Methoden der Vermessungskunde (Rückwärtseinschnitt, gegebenenfalls auch Vorwärtseinschnitt oder Polygonzugsmessung, trigonometrische oder geometrische, seltener barometrische Höhenmessung), jedoch unter Benutzung der erwähnten an der Kammer selbst angebrachten Mittel.

Bei fest aufgestellten Meßkamern ist also eine unmittelbare Bestimmung sämtlicher Elemente der äußeren Orientierung möglich, und zwar ist diese, während oder nach der Aufnahme durchführbar. Im Gegensatz hierzu ist für Aufnahmen von bewegten Standpunkten aus eine exakte direkte (und selbstverständlich nur gleichzeitige) Bestimmung der äußeren Orientierungselemente nur teilweise und auch nur in Ausnahmefällen durchführbar. So kann man

<sup>1</sup> Bezgl. der Justierung von Photogrammetern und Phototheodoliten vgl. die weiter unten angegebenen Sonderabhandlungen über die verschiedenen Aufnahmearten.

<sup>2</sup> E. DOLEŽAL, Int. Arch. f. Photogram. 3, 1912, S. 126.

<sup>3</sup> Z. B. Theodolit der ASKANIA-WERKE Berlin, D. R. P. Nr. 453719.

<sup>4</sup> Umschau 1927, Nr. 47, und D. R. P. Nr. 464433.

z. B. die Raumkoordinaten des Standpunktes einer Ballonaufnahme, nicht einer Flugzeugaufnahme,<sup>1</sup> durch gleichzeitige photogrammetrische Aufnahme von der Erde aus feststellen.<sup>2</sup> Zur Ermittlung des Nadirpunktes und damit Neigung und Richtung einer nahezu senkrechten Freiballonaufnahme kann nach einem Vorschlag von FR. SCHIFFNER<sup>3</sup> eine Anzahl von Leinen mit Graphieren, die vom Ballonäquator frei herabhängen. Der Schnittpunkt der Bilder ergibt das Bild des Nadirpunktes. Weiter kann man für Aufnahme vom Schiff (im allgemeinen aber nicht vom Flugzeug<sup>4</sup>) aus die Neigung und Kantung einer nahezu wagrechten Aufnahme durch gleichzeitige Aufnahme (Meeres-)Horizontes festlegen (Küstenvermessungskammer<sup>5</sup> von R. HUGERSHOFF, S. S. 147).

Es ist wiederholt daran gedacht worden, an Stelle des natürlichen Horizontes einen künstlichen gleichzeitig mit der Aufnahme abzubilden. Der theoretische Herstellung eines solchen Horizontes am besten geeignete Kreisel (S. gibt eine zu geringe Genauigkeit (s. unten) und ist zu kompliziert. Einfach gestaltet sich die Verwendung von Libellen (dosenförmigen oder Kreuzlibellen im Markenrahmen für Senkrechtkammern<sup>6</sup> oder teilweise mit Quecksilber gefüllter geschlossener Röhren in Form von rechteckigen Rahmen, die unmittelbar vor der Bildebene angeordnet sind<sup>7</sup> oder die Verwendung von Pendeln transparenter Gradenteilung, die unmittelbar vor der Rahmenebene schwappen wie z. B. das sogenannte „ERNEMANN-KOMMER-LOT“<sup>8</sup>. Libelle und Pendel geben aber nur bei ruhendem oder gleichförmig bewegtem Auflager den wahren Horizont bzw. die wahre Lotrichtung an. Aus diesem Grunde sind, abgesehen von der diesen Einrichtungen an sich zukommenden geringen Genauigkeit für eine exakte Orientierung von Flugzeugaufnahmen, nicht brauchbar.

Von einigen Konstrukteuren wurde vorgeschlagen, gleichzeitig mit Gelände die Sonne<sup>9</sup> und die Zeigerstellung einer Uhr zu photographieren. An Uhrangabe läßt sich unter gewissen Voraussetzungen Azimut und Neigungswinkel der Richtung nach der Sonne berechnen. Da aber die Kenntnis der Richtung eines Bildstrahles zur äußeren Orientierung selbstverständlich

<sup>1</sup> Der diesbezügliche Vorschlag von J. BOER (Bildmess. u. Luftbildwes., 3, S. 1), durch gerichtete Heliotropsignale vom Boden aus die Standpunkte der Ballonaufnahmen und ihre sonstigen Orientierungselemente zu ermitteln, dürfte sich praktisch verwirklichen lassen.

<sup>2</sup> R. HUGERSHOFF und H. CRANZ, Grundlagen usw., S. 4, Anm. 6, und C. ZEPHAR, D. R. P. Nr. 301322, ferner A. KLINGATSON, Int. Arch. f. Photogram. 1917, S. 199.

<sup>3</sup> FR. SCHIFFNER, Die photogr. Meßkunst, Halle 1892, S. 54.

<sup>4</sup> Dem von J. BOER a. a. O. gemachten Vorschlag, mittels eines kegelförmigen Spiegelsvorsatzes vor dem Aufnahmeobjektiv der Flugzeukkammer den natürlichen Horizont zu photographieren, dürfte schon wegen der Unbestimmtheit des letzteren kaum praktische Bedeutung zukommen.

<sup>5</sup> D. R. P. Nr. 305085, H. GRÜNER, Bildmess. u. Luftbildwes., 3, S. 110.

<sup>6</sup> In Verwendung z. B. bei der Luftbildkammer der WILLIAMSON MANUFACTURING Co., LTD., England (Eagle-Air-Camera).

<sup>7</sup> Niveaumessung, vgl. J. TH. SACONEY, Métrophotographie, Paris 1913.

<sup>8</sup> F. DOLLÉAL, Int. Arch. f. Photogram. 6, 1919/23, S. 24. Eine Übersicht über verschiedene Libellen und Pendeleinrichtungen gibt L. P. CLERC, Application de la Photographie Aéronautique, Paris 1920.

<sup>9</sup> S. FINKELWALDER, Akad. d. Wissensch., München 1917, II. KRUG, D. R. P. Nr. 424500.

leicht, so erscheint es zweifelhaft, ob sich die immerhin umständliche Berechnung praktisch lohnt.<sup>1</sup>

Es ist einleuchtend, daß man hinsichtlich Neigung und Richtung einer Aufnahme von einem bewegten Standpunkt und insbesondere vom Flugzeug irgendwelche vorgeschriebene Werte, so z. B. die Parallelität der Achsen obiger aufeinanderfolgender Aufnahmen, nicht einhalten kann. Die diesbezüglichen, theoretisch durchaus ansprechenden Versuche, durch Verwendung des Kreisels die Aufnahmekammer selbst<sup>2</sup> oder, was wesentlich vorteilhafter die (äußere) Kammerachse<sup>3</sup> zu stabilisieren, müssen zur Zeit wenigstens als nutzlos angesehen werden. Abgesehen von der Kompliziertheit der Einrichtung und der Gefahr, die ein Kiesel im Flugzeug bedeutet, machen die unvermeidlichen Nutationsbewegungen eine nachträgliche indirekte Orientierung immer notwendig. Damit wird aber die Verwendung des Kreisels überflüssig, denn eine ungefähre äußere Orientierung läßt sich stets rasch und auf einfache Weise finden (vgl. S. 164).

Auch der Vorschlag, eine vorgeschriebene Orientierung der Aufnahmen dadurch einzuhalten, daß man die Kammer mit zwei Fernrohren verbindet, in denen die entsprechende Neigung der Kammer der Horizont fortlaufend eingestellt werden soll, während gleichzeitig die Kammer um eine senkrechte Achse so zu drehen ist, daß das von einem uhrwerkgetriebenen Spiegel reflektierte Sonnenbild dauernd auf einer Einstellmarke einspielt,<sup>4</sup> dürfte praktisch kaum Bedeutung haben, und zwar schon deshalb nicht, weil keinerlei Kontrolle dafür vorhanden ist, daß im Augenblick der Belichtung die erforderlichen Einstellungen auch richtig und exakt durchgeführt waren.

Die Übersicht zeigt, daß eine direkte und exakte Bestimmung sämtlicher Elemente der äußeren Orientierung einer Aufnahme von bewegtem Standpunkt aus praktisch nicht möglich ist. Diese Aufgabe ist nur auf indirektem Wege zu lösen, und zwar unter Benutzung des Bildinhaltes und auf Grund von abgebildeten Geländepunkten, deren Lage und Höhe bekannt ist, vgl. S. 166 ff. Bildmeßkammern, die freihändig oder in einem Aufhängegestell benutzt werden, bedürfen also grundsätzlich keiner Sondereinrichtungen zur äußeren Orientierung der Aufnahmen, dagegen sind sie zur ungefähren Einhaltung unserer Aufnahmevorschriften (vgl. S. 144) mit einem einfachen Bildsucher einer Dosenkapsel zu versehen, gelegentlich ist eine solche auch im Innern des Kammerkorpers so anzuordnen, daß ihre Blasenstellung zur Ablesung kommt.

**27 Objektive von Meßkammern.** Ein photographisches Objektiv für photometrische Zwecke hat zunächst und ganz allgemein aus wirtschaftlichen Gründen die Forderung zu erfüllen, daß es ein möglichst großes Bildfeld von mindestens 54° Öffnungswinkel<sup>5</sup> (entsprechend einem Kreis, dessen Durchmesser gleich der Objektivbrennweite ist), scharf auszeichnet.

Hinsichtlich der Lichtstärke sind die Anforderungen bei Aufnahmen ruhender Objekte von festen Standpunkten aus im allgemeinen gering. Dagegen verlangt

<sup>1</sup> Das Verfahren wurde außer durch andere auch von E. SANTONI vorgeschlagen, O. KOERNER, Bildmess. u. Luftbildwes. 2, 1927, S. 80.

<sup>2</sup> C. P. GOERZ, A. G., Berlin, D. R. P. angem. O. 11175, Kl. 42c, vom 10. Sept. 1907.

<sup>3</sup> Fa. CARL ZEISS, D. R. P. angem. Aktenz. Z. 10636, Kl. 57a, vom 19. Okt. 1918.

<sup>4</sup> Diese Teileinrichtung ist dem bekannten Borkowschen Sonnenkompaß nachgebildet.

<sup>5</sup> Bei Objektiven mit größerem Bildfeldwinkel macht sich im allgemeinen ein Abfall nach dem Rande der Aufnahme hin störend bemerkbar.



die zumeist beträchtliche Geschwindigkeit der Luftfahrzeuge für die in ihnen verwendenden Kammer Objektive von größerer relativer Öffnung (1 : 4 bis 1 : 10).

Verschieden sind auch die Anforderungen hinsichtlich der Verzeichnungsfreiheit.<sup>1</sup> Vor der allgemeineren Einführung des KOPFFSchen Prinzips der Brechmessung (vgl. S. 44) war der Grad der Verzeichnungsfreiheit entscheidend für die Beurteilung eines Objektivs auf seine Verwendbarkeit für photogrammetrische Zwecke, er ist es selbstverständlich auch jetzt noch, wenn die Rekonstruktion des Objektes nicht nach jenem Prinzip, sondern beispielsweise Hilfe des Komparators oder des Stereokomparators bzw. des Stereoauftrags durchgeführt werden soll, also mit Geräten, die vorzugsweise der Ausarbeitung von terrestrischen Aufnahmen dienen, für die nach dem Gesagten lichtstarke Objektive im allgemeinen nicht notwendig sind. Hierin liegt ein besonderer Vorteil insofern, als die Forderung der Verzeichnungsfreiheit mit der Forderung einer großen Lichtstärke bei gleichzeitiger scharfer Auszeichnung eines großen Bildfeldes in einem gewissen Widerspruch steht. Es besteht übrigens die Möglichkeit, die Verzeichnungsfehler durch Vorschalten einer planparallelen Glasscheibe vor die lichtempfindliche Schicht zu kompensieren.<sup>2</sup>

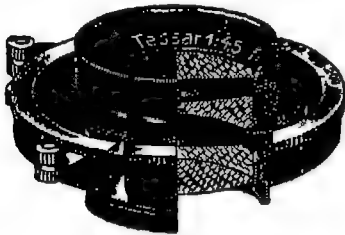


Abb 125 Tessar der Fa. C. ZEISS, Jena

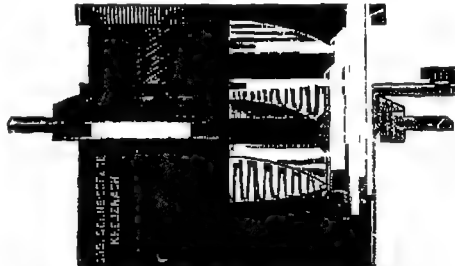


Abb 126 Xenar der Fa. JOSEF SCHNIEDER & Co., Kren

Die Unabhängigkeit der KOPFFSchen Richtungsmessung von Verzeichnungsfehlern des Aufnahmeobjektivs ist freilich nur dann vorhanden, wenn die Fehler beim Kammerobjektiv und bei den entsprechenden Bildträgerobjektiven völlig gleich sind. Der Umstand, daß die verwendeten Objektive von gleichem Typus, gleicher Brennweite und gleicher relativer Öffnung sind, gibt für die Gleichheit der Verzeichnungsfehler leider — bisweilen sogar bei Fabrikaten angesehenen Firmen — nicht ohne weiteres volle Sicherheit.

Es ist in dieser Hinsicht stets eine besondere Prüfung nötig, die am bequemsten und genauesten mit einem Goniometer durchzuführen ist, wie

<sup>1</sup> Die Verzeichnung verhindert bekanntlich die winkeltreue Abbildung eines zugeordneten Objektes und Bildebenen. Sie äußert sich in einer allmählichen Änderung des Maßstabes der Darstellung des Objektes von der Mitte der Aufnahme nach den Rändern hin, wobei man sich diese Maßstabsänderung verursachen denken kann durch eine allmähliche Änderung der Brennweite mit zunehmendem Neigungswinkel der Bildstrahlen gegen die optische Achse des Objektivs, vgl. HUGERSTOFF und C. G. Grundlag. d. Photogrammetrie Luftfahrzeuge Stuttgart 1919. Man vergleiche ferner hierzu M. v. ROHR, Das photogrammetrische Objektiv Berlin 1899, E. WANDERSIEB, ZS f. 1907, S. 33ff u. 75ff, F. STÄUBLE, ebendort, W. ZACHOKKE, Int. Arch. f. Photogrammetrie 4, 1913/14, S. 154, L. OBERLANDER, Int. Arch. f. Photogrammetrie 6, 1919/23, S. 17, F. WEIDERT, Die Eigenschaften der photogrammetrischen Objektive in Rücksicht auf ihre Verzeichnungsmessung, Vorträge, gehalten bei der 2. Hauptversammlung d. Int. Ges. f. Photogrammetrie, Berlin 1927.

<sup>2</sup> K. ZAAR, Int. Arch. f. Photogrammetrie 6, 1919/23, S. 199, und J. C. CLARK und A. H. BENNETT, Journ. of the Opt. Soc. of America, 14, 1927, S. 245.

§ 163 als Kammerprüfungstheodolit beschrieben wird. Die Objektive sind bei ihrer Gebrauchsfassung, d. h. also nach ihrer Montage in das Kammergehäuse in das Bildtragergehäuse in der Weise zu untersuchen, daß man am Anlegen der betreffenden Geräte ein- und dieselbe zweckmäßig mit einem Netzhwinkel sich kreuzender Linien (GAUTHIER-Gitter) versehene Glasplatte auflegt, nach entsprechender Orientierung dieses Netzes die Horizontal- und Vertikalwinkel nach möglichst vielen über das ganze Bildfeld verteilten Netzknoten mißt und die Richtungswerte für entsprechende Eckpunkte vergleicht. Abweichungen zusammengehöriger Richtungen sollen im allgemeinen unter 1° bleiben. Bei den Messungen ist besonders darauf zu achten, daß das Objektiv des Beobachtungsfernrohrs und das zu untersuchende Objektiv genügend voneinander zentriert sind und daß das Kammerobjektiv bei derjenigen Linsenöffnung untersucht wird, die bei den Aufnahmen benutzt werden soll und in Rücksicht auf gewisse Bildfehler des Objektivs<sup>1</sup> konstant einzuhalten ist. Zu den für Luftbildmeßzwecke geeigneten Objektiven gehören das Tessar von C. ZEISS in Jena (Abb. 125) mit dem Öffnungsverhältnis 1 : 4,5 und 1 : 6,3, das Xenar (Abb. 126) von JOSEF SOHNMEDER & Co. in Kreuznach (Öffnungsverhältnis 1 : 4,5 und 1 : 5,5) und das Dogmar von C. P. GÖRRZ in Berlin (Abb. 127), dessen Spezialtypus mit der relativen Öffnung 1 : 6,3 besonders

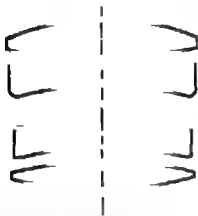


Abb. 127 Dogmar der I a C P GÖRRZ, Berlin (ZEISS IKONA G., Dresden)



Abb. 128 Doppelprotar der I a C ZEISS, Jena

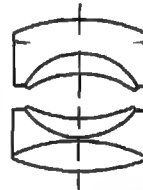


Abb. 129 Dagor (Geodar) der I a C P GÖRRZ, Berlin (ZEISS IKONA G., Dresden)

unge Verzeichnungen aufweist. Vorzugsweise kommen für terrestrische Zwecke die Frage das Doppelprotar von C. ZEISS (Abb. 128) mit der relativen Öffnung 1 : 7,7 und der GÖRRZsche Dagor (auch Geodar genannt) 1 : 9 (Abb. 129), welcher letzterer praktisch völlig verzeichnungsfrei ist. (Die Objektive Dagor und Dogmar werden nicht mehr hergestellt.)

§ 28 Formate der Meßkammern. Für terrestrische Aufnahmen ist ein rechtwinklig begrenztes Querformat des Bildrahmens mit einem Seitenverhältnis von ca. 2 : 3 allgemein eingeführt und als zweckmäßig erprobt. Für die Aufgaben der Luftbildmessung, in der heute fast ausschließlich ungefähre Senkrechtaufnahmen Verwendung finden, ist das in England seit längerer Zeit angewandte, Deutschland schon vor 1914 eingeführte<sup>2</sup> quadratische Format vorzuziehen. Der von den zur Zeit zur Verfügung stehenden Objektiven für photogrammetrische Zwecke ausgezeichnete Bildfeldkreis im allgemeinen, wie oben erwähnt, den Durchmesser hat, der gleich der Objektivbrennweite  $f$  ist, so ergeben sich für das Seiten des rechteckigen Formates, das sich jenem Bildkreis möglichst rationell anschmiegt, etwa folgende Beziehungen

$$\begin{aligned} \text{lange Seite } s_l &= 0,9 \cdot f \\ \text{kurze Seite } s_k &= 0,6 \cdot f \end{aligned}$$

<sup>1</sup> T. WEIDLERT, a. a. O.

<sup>2</sup> P. SEIFER, ZS. d. Ver. deutsch. Ing. 72, 1928, S. 1749.

und für das quadratische Format

$$s = 0,85 \ f$$

Es ist klar, daß für Luftaufnahmen die völlige Ausnützung eines Objektes nur durch ein kreisförmig begrenztes Bildfeld mit dem Durchmesser  $f$  möglich ist<sup>1</sup>. Das Format des Aufnahmeträgers wird in diesem Falle natürlich ebenfalls quadratisch sein mit einer Seitenlänge

$$s = f$$

Die Ecken dieses Quadrates können zur Abbildung von Orientierungsmitteln z. B. einer Dosenlibelle, oder zur Wiedergabe der Stellung eines Werkes benutzt werden.

Den derzeit gebräuchlichen Plattenformaten für wagrechte und senkrechte Aufnahmen von 9 12, 10 15 und 13 18 cm entsprechen nach den angeführten Beziehungen die Brennweiten 13,4, 16,6 und 20 cm, den Formaten 12 12 und 18 18 cm für senkrechte Luftaufnahmen die Brennweiten 12 12 cm, bzw. bei völliger Ausnützung des kreisförmigen Bildfeldes 12 und 18 cm. Die Bildweiten der im Handel befindlichen Meßkammern (S 126 bis 130) stimmen gut mit diesen Werten überein.

Größere Bildweiten als 21 cm und damit entsprechend auch größere Formate sind vor allem aus Genauigkeitsgründen unzweckmäßig, schon wegen der Schwierigkeit, das Aufnahmematerial genügend genau eben zu orientieren. Dementsprechend sind auch die Auswertegeräte für größere Bildformate 18 18 cm nicht eingerichtet. Da nun — unter der Voraussetzung eines gegebenen Bildfeldwinkels — die Aufnahmen von Kammer mit beliebigem Objektiv gemacht werden können, so gleichen relativen Flughöhen die gleiche Fläche überdecken, zu untersuchen, ob die derzeit viel verwendete Bildweite von 21 cm nicht wesentlich kleinere Bildweiten ersetzt werden kann und zwar zunächst Rücksicht darauf, daß dadurch der Umfang des Aufnahmegeräts, sein Gewicht und das Gewicht des Aufnahmematerials wesentlich verringert werden, was flugtechnisch von ziemlicher Bedeutung ist.

Zwei Aufnahmen aus gleicher Flughöhe mit den Bildweiten  $f$  und  $f'$  unterscheiden sich durch die Bildmaßstäbe  $M_B$  bzw.  $M'_B$  und es gilt

$$M_B = M'_B \cdot \frac{f'}{f}$$

Es ist also beispielsweise der Bildmaßstab einer Aufnahme mit dem Reihensbildner 12 12 cm,  $f = 13,5$  cm (vgl. S 163) um 35% kleiner als der Bildmaßstab einer Aufnahme mit dem Reihensbildner 18 18 cm,  $f = 20$  cm (S 151). Diese Maßstabsverminderung ist aber zunächst hinsichtlich der Bildqualität heute schon bedeutungslos mit Rücksicht auf die Feinkörnigkeit des bereits im Handel befindlichen Filmmaterials, das eine entsprechend große Vergrößerung des Bildes bei der Ausarbeitung zuläßt. Die mit der Verringerung der Bildweite theoretisch verbundene Genauigkeitsminderung wird durch verschiedene Umstände ausgeglichen, insbesondere durch die bei kleineren Bildformaten exaktere Planlegung des Aufnahmematerials, die größere Konstanz desselben hinsichtlich der Verziehung des Emulsionsschichtes (S 115). Für die Herstellung topographischer Aufnahmen in kleinem Maßstab z. B. 1 : 50000, sowie für militärische und kolonialtopographische Zwecke ist die Verwendung der bisher üblichen großen Bildweiten aus wirtschaftlichen

<sup>1</sup> D. R. P. Nr. 457 848

len besonders unzweckmäßig.<sup>1</sup> Aus der zwischen der relativen Flughöhe  $H$ , Bildweite  $f$  und dem Bildmaßstab  $M$  bestehenden Beziehung

$$1 \quad M = f : H$$

aus dem Umstand, daß die aus meteorologischen und flugtechnischen Gründen selten zu überschreitende relative Flughöhe 3000 m beträgt, folgt ein Bildmaßstab von 1 : 50000

$$f = \frac{3000 \text{ m}}{50000} = 6 \text{ cm}$$

Der auf S. 153 erwähnte kleine Reihenbildner 6 : 6 cm,  $f = 6$  cm entspricht vollkommen dem in Frage kommenden Zweck, zumal ja der Bildmaßstab derselbe im vorliegenden Fall ohne weiteres wesentlich kleiner (1 : 75000 bis 1 : 10000) als der geforderte Kartenmaßstab sein darf (vgl. S. 210 ff.). Die Bemühungen zur Einführung kleinerer Formate in die Photogrammetrie, um die auch PRÄDHUMBAU, WILD und die PHOTOGRAMMETRIE G. m. b. H. sich verdient gemacht haben, dürften in der Zukunft entsprechend der zu erwartenden weiteren Entwicklung der Emulsionstechnik besondere Bedeutung finden.

**9. Verschlüsse der Meßbildkammern.** Bei Aufnahmen ruhender Objekte von einem Standpunkte aus kann jeder beliebige Verschuß Verwendung finden, gemeinen genügt hier zur Belichtung sogar ein einfacher, von Hand betätigter Kastenverschluss. Bei einer Relativbewegung zwischen Objekt und Meßkammer dagegen selbstverständlich mechanische Verschlüsse benutzt werden. Solche kommen für Flugzeugmeßaufnahmen Schlitzverschlüsse nicht in Betracht, der Spalt des Schlitzes setzt den entsprechenden Streifen der Emulsion nur sehr kurze Zeit dem Lichte aus, wegen der verhältnismäßig langen Wartezeit des Ablaufes entspricht aber dem zuerst belichteten Streifen ein anderer Standpunkt als dem zuletzt belichteten Streifen.

Eine strenge Zentralprojektion des Objektes ist deshalb bei einer Relativbewegung von Kammer und Objekt nur durch einen nahe am Objektiv, am besten in der Blendenebene desselben angebrachten sogenannten Zentralverschluss zu erzielen. Von der Konstruktion eines solchen Verschlusses, insbesondere eines Reihenbildkammers, ist in erster Linie eine hohe Stabilität und möglichst

Geschwindigkeit, d. h. möglichst kurze Dauer des Ablaufes zu verlangen. Auch besonders bei Objektiven mit großem Durchmesser kaum eine kürzere Wartezeit als  $\frac{1}{150}$  Sekunde erzielen läßt, diese Zeit bei Flügen in Normalhöhen nicht der erforderlichen Bildscharfe aber nicht überschritten werden darf, sind Vorrichtungen zur Regelung der Ablaufgeschwindigkeit von geringster Bedeutung.

Die an Meßkammern gebräuchlichen Verschlüsse gehören im allgemeinen zur Gruppe der Spannverschlüsse,<sup>2</sup> d. h. es sind solche Verschlüsse, bei denen vor Beginn der Belichtung eine Feder zu spannen ist. Die Einleitung der Unterbrechung der Belichtung wird gewöhnlich durch drei bis sechs Lamellen (Sektoren) bewirkt, die aus dünnem Stahlblech hergestellt und von Kreisbogenstücken begrenzt sind (Vgl. hierzu auch Bd. II dieses Handbuches).

Das Konstruktionsprinzip eines solchen Verschlusses sei an Hand einer schematischen Darstellung (Abb. 130) eines Vierlamellenverschlusses der Firma R. FLÄNDER & SOHN, A. G. in Braunschweig erläutert, aus der das Wesen auch

<sup>1</sup> K. SLAWIK, Allg. Verm. Nachr. 40, 1928, S. 553.

<sup>2</sup> K. PRITSCHOW, ZS. d. Ver. deutsch. Ing. 66, 1922, S. 316.

anderer Verschlüsse ersichtlich wird<sup>1</sup>. Die vier Sektoren, von denen gezeichnet sind, drehen sich um die vier fest im Gehäuse  $G$  angebrachten  $Z$ . Sie werden in Bewegung gesetzt durch den Mitnehmerring  $R$  unter Ver

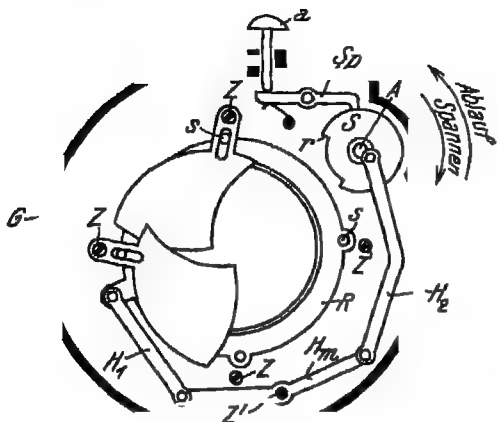


Abb 130 Schema eines Sektorenverschlusses von VOIGTLÄNDER & SOHN, A.-G. in Braunschweig

der Stifte  $s$ . Die Drehung, und zwar eine links- und rechtssinnige des Ringes, wird durch einen hebel bewirkt, der aus einem im Gehäuse angebrachten  $Z$  drehbaren) Mittelteil  $H_m$  und gelenkten Seitenteilen  $H_1$  und  $H_2$  besteht. Ersterer ist gelenkig mit dem Mitnehmerring  $R$  verbunden,  $H_2$  mit seinem äußeren Ende um die Achse  $A$  drehbar, an der befestigt ist, durch deren Drehung gegen dem Uhrzeigersinn das System den Ring  $R$  zunächst und dann im Uhrzeigersinn drehen, daß die Lamellen die Öffnung bzw. verschließen. Die Drehung der Scheibe  $S$  wird durch eine Lamelle  $L$  anläßt, die vor der Belichtung die Drehung der Scheibe  $S$  im Uhrzeigersinn zu spannen ist. Dabei ver

hindert (nicht gezeichnetes) Sperrrad, daß beim Spannen der Feder der Verschluss wird. Nach dem Spannen legt sich der durch eine Blattfeder nach oben gehende Sperrhebel  $Sp$  in eine Rast  $r$  an der Scheibe  $S$ . Durch Niederdrücken des Hebels  $a$  wird der Sperrhebel ausgeklinkt und die Scheibe  $S$  schnell

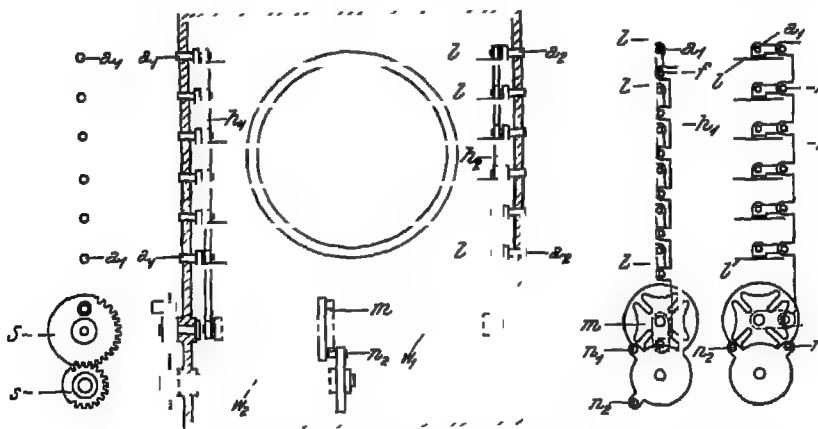


Abb 131 Schema des Lamellenverschlusses nach E. LABRÈLE

Einfluß der gespannten Feder zurück. Die im vorliegenden Falle, erwähnt, weniger wichtige Regulierung der Ablaufzeit wurde früher auf pneumatischem Wege, durch eine Art Luftpumpe, erzielt. Die DECKEL in München hat zuerst an Stelle dieser wenig zuverlässigen

<sup>1</sup> Vgl. K. PRITSCHOW, a. a. O., und W. O. HAMMER, Illustr. Guide and of photogr. Inter lens Shutter, ohne Ort, 1917.

t ihrem Compur-Verschuß ein Zahnradhemmwerk eingeführt, bei dem nach Bedarf einzelne Teile ausgeschaltet werden können

Eine wesentlich abweichende Konstruktion zeigt der ebenfalls an Reihendnern verwendete Lamellenverschluß von E. LABRÉLY in Paris. Die Lamellen (Abb. 131) haben hier die Form von schmalen Rechtecken, die um ihre längere Mittellinie eine rechts- bzw. linksinnige Drehung um je  $180^\circ$  ausführen können. In der Verschußstellung überdecken sie sich dachziegelartig und liegen parallel den Hauptebenen des Objektivs. Nach einer Drehung um  $90^\circ$  gewahren sie ein lichte vollen Zutritt, nach einer weiteren Drehung um  $90^\circ$  ist der Lichtzutritt wieder unterbrochen. Die nächste Belichtung erfolgt durch eine entsprechende Rückwärtsdrehung der Lamellen. Jede der Lamellen ist auf einer Achse  $a_1$  bzw.  $a_2$  befestigt. Sämtliche Achsen werden gemeinsam und gleichzeitig Drehung versetzt durch links und rechts angeordnete Hebelpaare  $h_1$  bzw.  $h_2$ , wodurch deren hin- und hergehende Bewegung unter Vermittlung der exzentrisch den Achsen  $a$  angebrachten Führungsstifte  $f$  die Lamellen aus der einen Verschußstellung in die andere überführt werden. Die Verschiebung der Hebel  $h$  wird durch eine entsprechende Drehung der Welle  $w_1$  bewirkt, auf der eine Scheibe  $m$  mit rechtwinklig sich kreuzenden Führungsnuten (Malteserkreuz) festgesetzt ist. Die Drehung der Welle  $w_1$  erfolgt nun durch eine Drehung der Welle  $w_2$  derart, daß zwei auf letzterer befestigte Nocken  $n_1$  und  $n_2$  nacheinander die Führungsnuten der Scheibe  $m$  eingreifen und damit diese bzw. die Welle  $w_1$  (um je  $90^\circ$ ) vorwärts treiben. Die Nocke  $n_2$  greift in die Scheibe  $m$  erst ein, nachdem die Nocke  $n_1$  die Scheibe bereits vor einem kurzen Zeitintervall verlassen hat. Dementsprechend verharren die Lamellen während einer kurzen Zeit in der Öffnungsstellung in Ruhe. Der Antrieb der Welle  $w_2$  erfolgt durch einen von einer gespannten Feder in Drehung versetzte Scheibe  $S$ , deren teilweiser Rand in eine entsprechende Zahnung eines auf  $w_2$  beweglichen Sektors  $s$  eingreift. Das Spannen der Feder erfolgt durch eine Drehung der Scheibe  $S$ , wobei eine (nicht gezeichnete) Sperrung dafür sorgt, daß während des Spannens der Verschluß nicht betätigt wird. Der geschilderte Verschluß wird unmittelbar vor dem Objektiv angebracht. Doch hat LABRÉLY auch eine auf dem gleichen Prinzip beruhende Konstruktion angegeben, die sich als Zentralverschluß verwenden läßt.<sup>1</sup>

Außer Stabilität und kurzer Dauer der Ablaufzeit, d. h. der Zeit zwischen Beginn des Öffnens und volligem Verschluß, ist zur besten Ausnutzung der Lichtstärke des Objektivs zu fordern, daß das Verhältnis der während des Verschlußablaufes in die Kammer tatsächlich gelangten Lichtmenge zur theoretisch maximalen Lichtmenge möglichst groß ist. Man nennt dieses (in Prozenten ausgedrückt) Verhältnis den „Wirkungsgrad“ des Verschlusses. Es ist einleuchtend, daß der Wirkungsgrad um so größer ist, je weniger Zeit zur Erzielung der Öffnungs- bzw. Verschußstellung der Lamellen verbraucht wird.

Der Wirkungsgrad der Mehrzahl der gebräuchlichen Verschlüsse ist kaum größer als 40%. Er läßt sich steigern entweder durch geeignete Form der Lamellen (Abb. 130 zeigt ein in dieser Beziehung günstiges Öffnungsbild, wenn bei Öffnung des Verschlusses werden nicht nur die Mitte, sondern auch die Endteile des Objektivs dem Lichteintritt freigegeben) oder durch die Art des Antriebs, wie bei der Konstruktion von LABRÉLY, durch welche die Lamellen in der Öffnungsstellung eine kurze Zeit festgehalten werden. Für die experimentelle Feststellung der Ablaufzeit und des Wirkungsgrades sind verschiedene Apparate angegeben worden.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> See et Ind. phot. 6, 1920, S. 484

<sup>2</sup> Vgl. z. B. O. JACMANN, Bildmess. u. Luftbildwes. 3, 1928, S. 101

Das Spannen des Verschlusses und seine Auslösung erfolgt zweckmäßig durch einen Hebel, der entweder von Hand oder bei Reihenbildern mechanisch zu betätigen ist. Eine derartige Einrichtung (Meßkammern nach HUGERSHOFF

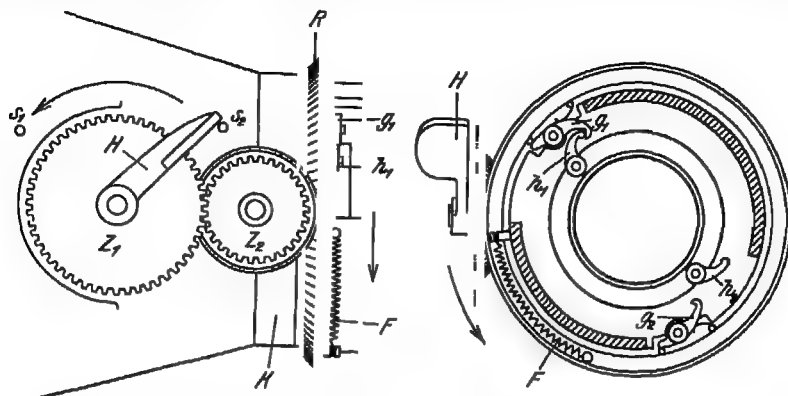


Abb. 132 Schema der Spann- und Auslöseinrichtung an den Meßkammern nach R. HUGERSHOFF

zeigt schematisch Abb. 132 und zwar in der Ruhestellung, in der ein federnder Greifer  $g_1$  hinter dem Spannhel  $h_1$  liegt. Durch Linksdrehen des Aufzugshebels  $H$  wird unter Vermittlung der Zahnräder  $Z_1$  und  $Z_2$  das in der Objektivschutzkappe  $K$  liegende Kegelrad  $R$ , von vorn gesehen, ebenfalls linksläufig gedreht. Dabei wird einmal die Feder  $F$  gespannt und gleichzeitig der Spannhel , durch den am Kegelrad  $R$  befestigten Greifer  $g_1$  gedreht (Verschlußspannung) und zwar bis in eine Endstellung, in der  $h_1$  bis zur Auslösung verharzt. Inzwischen hat sich der federnde Greifer  $g_2$  hinter den Auslöshebel  $h_2$  gelegt und die Weiterdrehung des Aufzugshebels ist durch den Anschlagstift  $s_1$  gehemmt worden.

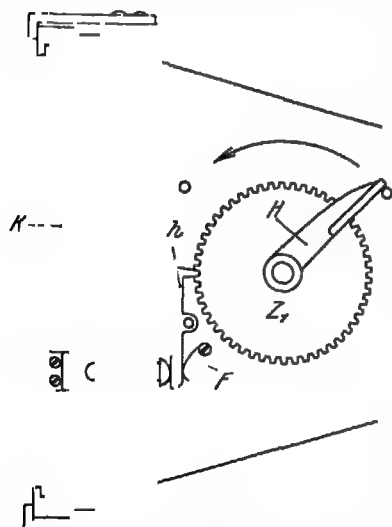


Abb. 133 Spannungssicherung an Meßkammern

Beim Nachlassen des Druckes auf den Aufzugshebel  $H$  bewegt sich das Kegelrad  $R$  unter dem Einfluß der jetzt gespannten Feder  $F$  zurück. Dabei dreht der Greifer  $g_2$  den Hebel , bis zur Verschlußauslösung. In der entsprechenden Stellung gleitet  $g_2$  von  $h_2$  ab, so daß gleichzeitig mit dem Spannhel  $h_1$  in die Ausgangsstellung zurückschnappen kann. Die von der Feder  $F$  angetriebene Rückwärtsbewegung des Kegelrades  $R$  findet ihr Ende durch den Anschlag des Hebels  $H$  gegen den Stift  $s_2$ , worin die in der Zeichnung wiedergegebene Ruhestellung von neuem erreicht ist.

Von den verschiedenen zur Sicherung gegen Fehlbelichtungen (besonders bei den unter oft schwierigen Umständen durchzuführenden Aufnahmen im Flugzeug) sehr wichtigen mechanischen Einrichtungen sei hier nur die zuerst an den HUGERSHOFFSchen Meßkammern angebrachte Einrichtung angeführt.

\* Diese Anordnung verhindert das „Durchreißen“ des Verschlusses, was wichtig zur Erzielung unverwackelter Aufnahmen.

eine Belichtung bei nicht am Bildrahmen angepreßter Platte verhindert. Abgehobener Platte bzw. Kassette *K* (Abb 133) drückt eine Feder *F* den Hebel *h* in die Zahnung des am Aufzughebel *H* (vgl. Abb 132) angebrachten Triebrades *Z*<sub>1</sub>. Der Aufzughebel *H* wird demnach erst freigegeben, wenn durch Drücken der Kassette (vgl. Abb 133) der Hebel *h* niedergedrückt und damit die Zahnung herausgehoben ist.

**30 Die Emulsionsträger** Als Träger der lichtempfindlichen Schichtemulsion kommen zur Zeit praktisch nur Glasplatten und Filmbänder in Frage.<sup>1</sup> Von den photogrammetrischen Zwecken dienenden Glasplatten wurde früher ganz allgemein völlige Planheit der der Emulsion zugekehrten Fläche gefordert. Eine neuere Untersuchung des Falles, daß eine bei der Aufnahme kugelschalenförmig gekrümmte Platte im Komparator ausgemessen wird, zeigt, daß die auftretenden Fehler ähnlichen Charakter haben wie die Verzeichnungsfehler eines Objektivs. Sie können recht beträchtliche Werte annehmen. Ihr Maximum erreichen sie in einer mittleren, ringförmigen Plattenzone, wo sie bei dem größten gebräuchlichen Plattenformat von 18 × 18 cm, einer Bildweite von 200 mm und einer Krümmung von 1 mm mehr als 2' betragen.

Diese Fehler werden allerdings völlig eliminiert bei Anwendung des KOPPELschen Ausmeßprinzips, freilich unter der Voraussetzung, daß die Originalnegative ausgemessen werden und diese in der Kassette keine zusätzliche Durchbiegung erfahren. Bei Abweichungen von diesem Idealfall, z. B. Ausmessung in Kontakt-Diapositiven, bei deren Herstellung das Negativ gegen eine mehr oder weniger ebene Diapositivplatte gepreßt wurde, werden selbstverständlich auch hier Fehler auftreten, die aber jedenfalls mit abnehmendem Plattenformat (S. 110) kleiner und zudem teilweise durch andere Fehlereinflüsse kompensiert werden.<sup>2</sup> Das bestätigt die Praxis durchaus, wonach auch mit gewöhnlichen Glasplatten völlig befriedigende Resultate zu erreichen sind. In diesem Umstand liegen besondere wirtschaftliche Vorteile, die Herstellung wirklich exakt ebener Glasplatten verlangt eine ziemlich hohe Dicke des Materials, das dadurch schwer und deshalb — abgesehen vom Preis solcher „Spiegelglasplatten“ — jedenfalls Hochgebirgs- und Flugzeugaufnahmen unvorteilhaft ist. In der Praxis verwendet man deshalb heute mit wenigen Ausnahmen<sup>3</sup> gewöhnliche Glasplatten.

Der Film kam bis vor kurzem als Emulsionsträger für die meisten photogrammetrischen Aufgaben nicht in Frage. Es gibt zwar Möglichkeiten, ihn während der Aufnahme und Auswertung exakt plan zu legen (vgl. S. 125), photochemische Behandlung und das Trocknungsverfahren ergab aber Schrumpfungen des Emulsionsträgers<sup>4</sup> von so unregelmäßigem Charakter, daß die Verwendung des Films zu Meßzwecken ausgeschlossen war. Bezüglich Regelmäßigkeit der Schrumpfung bestehen verschiedene Anforderungen,

<sup>1</sup> Es sind auch metallische Emulsionsträger vorgeschlagen worden, vgl. z. B. L. ZEISS, D. R. P. Nr. 378 958.

<sup>2</sup> Bei den neueren Meßkammern von HUGERSHOFF (S. 125 und S. 144) werden nämlich die Platten sowohl bei der Aufnahme als auch bei der Ausmessung gegen eine ebene Kammer bzw. im Bildträger angebrachte Planparallelplatte gepreßt, so daß eine genügende Planheit mechanisch erzielt wird.

<sup>3</sup> K. SCHNEIDER, Bildmess. u. Luftbildwes. 4, 1929, S. 1.

<sup>4</sup> Die an sich sehr geringe Verziehung der lichtempfindlichen Schicht gegen den Emulsionsträger zeigt nach neueren Untersuchungen bei sorgfältiger Behandlung (sonders während der Trocknung) im wesentlichen regelmäßigen Charakter, ist bedeutungslos, die unregelmäßige Verziehung aber kann im allgemeinen vernachlässigt werden. Vgl. hierzu auch H. LUDENDORFF, Astr. Nachr. 162, 1903. Gese, der Schichtverziehung zugeschriebene systematische Messungsfehler (K. DOBRY, Int. Arch. f. Photogramm. 6, 1923, S. 106) dürften Verzeichnungsfehler sein.



je nach dem zur Verfügung stehenden Auswertegerät. Eine allseitig gleichmäßige Schrumpfung (entsprechend einer ähnlichen Verkleinerung d. Originalperspektive) ist selbstverständlich bei Entzerrungsgeräten und auch bei denjenigen Auswertegeräten zulässig, die eine Anpassung an verschiedene Bildweiten des Aufnahmegerätes gestatten (z. B. Stereoaufograph, Stereoplatograph, Autokartograph und Aerokartograph), da ja eine Verkleinerung d. Bildmaßstabes einer Verkleinerung der Aufnahmebildweite entspricht. Auch eine perspektiv deformierende Schrumpfung, entsprechend einer

ebenen Schnitt des abbildenden Strahlenbündels, könnte, abgesehen vom Entzerrungsgerät wenigstens im Autokartographen und Aerokartographen eliminiert werden und zwar dadurch, daß der Film so gegen die optische Achse d. Bildträgerobjektivs geneigt wird, daß die Bildmarken unter den Öffnungswinkeln der Kammer (S. 158) erscheinen.

Es ist neuerdings einigen Firmen gelungen, Filme zu schaffen, bei denen die unregelmäßige Schrumpfung (als Abweichung von einer allseitig gleichmäßigen Schrumpfung) so gering ist, daß sie im allgemeinen vernachlässigt werden kann.

Die entsprechenden Untersuchungen eines Films kann in der Weise geschehen, daß man ein

Abb 134. Schrumpfung des Aerochromfilms der AGFA (50fache Vergrößerung)

Abb 135. Schrumpfung des Aero-Vermessungsfilms der ZEISS-IKON A - G (50fache Vergrößerung)

eine Glasplatte aufgetragenes Gitter rechtwinklig sich kreuzender gleichabständiger Geraden (GAUTIER-Gitter) auf ein Filmstück kopiert und Original und Kopie im Stereokomparator vergleicht. Aus den entsprechenden Messungen ergibt sich das geschrumpfte Netz, das man durch ein sich ihm möglichst anschmiegendes Quadratnetz ersetzt. Die Abweichung entsprechend Strecken des Schmiegungsnetzes gegen das Originalnetz ergibt die regelmäßige (mittlere) Schrumpfung, während die Abstände der Ecken des geschrumpften Netzes von den entsprechenden Ecken des Schmiegungsnetzes die unregelmäßigen Schrumpfunge darstellen.

Das Ergebnis einer solchen Messung ist in Abb. 134 (Aerochrom Vermessungsfilm der AGFA-A. G.) und in Abb. 135 (Aero-Vermessungsfilm der Firma ZEISS-IKON A. G.) wiedergegeben, worin Original und Filmkopie (in 50facher Vergrößerung der Abweichungen) übereinander gelegt sind, so daß die totalen Deformationen unmittelbar sichtbar werden.

An Hand der den Abb 134 und 135 zugrunde liegenden Beobachtungen haben sich die folgenden Werte

Tabelle I Schrumpfungen in Filmen

Fabrikat	Regelmäßige Schrumpfung in %	Mittl unregelmäß Schrumpfung in mm
AGFA	0,21	$\pm 0,020$
ZEISS-IKON	0,18	$\pm 0,020$

Einige weitere Untersuchungsergebnisse veröffentlichte O LAOMANN<sup>1</sup>

31 Emulsion und Filter Bei photogrammetrischen Aufnahmen handelt es sich in der Mehrzahl der Fälle um Aufnahmen weit entfernter Objekte. Die räumlichkeit des von einem solchen Objekt ausgehenden und für den Bildbau allein brauchbaren Lichtes (Geländestrahlen) nimmt mit dem Quadrat Entfernung ab. Infolgedessen nimmt auch der Unterschied der Helligkeit nachbarter Objektteile, der diese Teile im allgemeinen doch allein auf der Aufnahme unterscheiden läßt, nach dem gleichen Gesetz ab. Die Differenz zwischen hellstem Licht und dunkelstem Schatten, der „(Helligkeits-)Umfang“

Objekts, ist bei Fernaufnahmen gegenüber Nahaufnahmen stark verringert. Es erscheinen beispielsweise in einer aus mittlerer Flughöhe senkrecht von oben gesehenen Landschaft die Lichter kaum fünfmal so hell als die Schatten.<sup>2</sup> Diese auf bloßen Auge auffallenden geringen Kontraste werden bei der Aufnahme weiter wesentlich vermindert durch die chemische Wirkung der für den Aufbau unbrauchbaren Strahlen, die durch Reflexion an den feinen und feinen Beimengungen der Luft in die Kammer gelangen und dort durch allgemeine Helligkeitsvermehrung<sup>3</sup> den „Luftlichtschleier“ oder „Dunstschleier“ erzeugen.

Das der Kammer zugeführte storende „Luft“-Licht hat — wenigstens an Tagen mit klarem Wetter — eine mehr oder weniger ausgesprochen blaue Farbe,<sup>4</sup> die Folge der spektral selektiven Wirkung der Beugung des Sonnenlichtes an Luftmolekülen<sup>5</sup> ist. Das Luftlicht wird sich also auf gewöhnlichen Bromsilberplatten, die gerade für Blau hochgradig empfindlich sind, besonders unverkennbar bemerkbar machen. Die Verwendung von Gelbfiltern zur höchsten Absorption des blauen Lichtes und von gelbgrün empfindlichen (hochchromatischen)<sup>6</sup> Platten wird darum zur Notwendigkeit. Die gebrauchten Gelbfilter lassen bei größerer Dichte kein Licht von der Wellenlänge des Lichtes (500  $\mu\mu$ ) und von geringerer Wellenlänge (das ebenfalls im Luftlicht ent-

<sup>1</sup> Bildmess u Luftbildwes 3, 1928, S 101

<sup>2</sup> Vgl hierzu auch E GOLDBERG, Der Aufbau d phot Bildes, Halle a S., 1925  
H E IVES, Airplane photography, Philadelphia u London 1920

<sup>3</sup> Die Absorption in der zwischen Objektiv und Objekt liegenden Luftschicht wirkt eine allgemeine Intensitätsverminderung der Geländestrahlen, ist aber im wesentlichen ohne Einfluß auf die Kontraste. Man vgl auch Aerial Haze and its effect on Photography from the Air, Mon of the Theory of Phot from the Rev of the EASTMAN Kodak Co Nr 4, New York u Rochester, N Y., 1923

<sup>4</sup> A MIETHE, Vorträge, gehalten bei der 2 Hauptvers d Int Ges f Photogramm., in 1927. Ferner F LEIBER, Bildmess u Luftbildwes 4, 1929, S 137

<sup>5</sup> F LEIBER, Phot Ind 26, 1928, Heft 41

<sup>6</sup> Gegen die Zweckmäßigkeit der Verwendung panchromatischer Emulsionen gilt A MIETHE a n O gewichtige Gründe vor

halten ist) zur Wirkung kommen, während sie die Strahlen mit Wellenlängen  $> 500 \mu\mu$  ungehindert oder nur wenig gedämpft passieren lassen, das sind gerade die (bildaufbauenden) Geländestrahlen. Gelbfilter und farbenempfindliche Emulsionen verlieren ihre günstige Wirkung an truben Tagen mit Wassertropfchen in der Atmosphäre und bei von Rauch und Staub in den unteren Schichten erzeugtem Dunst. Diese atmosphärischen Beimengungen reflektieren hier das Sonnenlicht unmittelbar, so daß das Luftlicht auch langwellige Strahlen in hohem Prozentsatz aufweist.

Als Filter kommen für photogrammetrische Zwecke nur die in der Luft gefärbten (Cadmiumsulfid-) Glasfilter in Betracht, deren beide Flächen senkrecht und parallel (innerhalb  $40''$ ) sein müssen. Bei den sonst in der photogrammetrischen Praxis gebräuchlichen Gelatinefiltern ist die notwendige Planparallelität des Trägers der gefärbten Folie im allgemeinen nicht vorhanden. Die Verwendung eines Filters erfordert eine seiner Dichte entsprechende (im allgemeinen zwei- bis sechsfache) Verlängerung der Belichtungszeit. Die Wahl eines Filters zur Erzielung einer geringeren Belichtungszeit ist, worauf F. L. ausführlich hinweist,<sup>1</sup> unzuverlässig, da hierbei die nach dem kurzwelligen Ende des Spektrums hin unverhältnismäßig an Intensität zunehmenden Strahlen des Luftlichtes besonders stark zur Wirkung kommen. Eine Herabsetzung der Belichtungszeit, für die übrigens nur bei der Luftbildmessung, nicht aber bei der terrestrischen Photogrammetrie ein Bedürfnis besteht, läßt sich nur durch die Erhöhung der Allgemeinen Empfindlichkeit der Emulsion erzielen.

Photogrammetrisch verwendbare Emulsionen sollen also ausgesprochen gelbgrün empfindlich sein und eine hohe Allgemeine Empfindlichkeit besitzen. Die letztere dann, wenn es sich um Luftbildaufnahmen handelt. Bei der Luftbildaufnahme wird aus aufnahmetechnischen Gründen noch zu fordern sein, daß der Belichtungsspielraum möglichst groß ist. Über den Belichtungsspielraum einer Emulsion gibt die „Gradationskurve“ Auskunft, die den funktionalen Zusammenhang zwischen der eingestrahelten Lichtmenge (Abszissenachse) und der durch die Entwicklung erreichbaren Schwärze (Ordinatenachse) darstellt. Diese Kurve, die natürlich für jede Emulsion im Einzelnen verschieden ist, hat als allgemeines Kennzeichen einen zu Beginn flachen Anstieg (Unterbelichtungsgebiet),<sup>2</sup> dann einen mehr oder weniger geraden und sich steiler erhebenden Abschnitt (Normalbelichtungsgebiet), das sich schließlich in ein flacheres Kurvenstück (Überbelichtungsgebiet) anschließt. Aus diesem Funktionsbild ergibt sich zunächst, daß im Gebiet der Unterbelichtung ebenso wie in dem der Überbelichtung einer kleinen Lichtintensitäts- (Helligkeits-) Differenz eine sehr kleine Schwärzungsdifferenz entspricht. Nach dem oben Gesagten geringe Helligkeitsunterschiede gerade für Feinheitencharakteristischer sind, so dürfen für solche nur Belichtungszeiten gewählt werden, die innerhalb des „Normalbelichtungsgebietes“ liegen. Der Belichtungsspielraum ist bei steil graduerten („harten“) Emulsionen offenbar gering, bei flach graduerten („weichen“) Emulsionen, der Unterschied spielt bei Luftbildaufnahmen wegen ihres geringen „Objektumfanges“ (s. oben) keine Rolle. Hier sind bei normaler Gradation z. B. zwei gleich gute Aufnahmen mit anderen Belichtungszeiten sich wie 1 : 10 verhalten. Anders liegen die Verhältnisse bei flach geneigten Luftbildaufnahmen. Hier ist wegen der starken, vom Hintergrund herrührenden Zunahme der Helligkeit nach dem Hintergrund zu mit dem Objektumfang von mindestens 1 : 30 zu rechnen.<sup>3</sup> Infolgedessen ist der 1

<sup>1</sup> F. LEIBER, Phot. Ind. 26, 1928, S. 1034

<sup>2</sup> Vgl. z. B. A. MIETHKE & Co., Berlin 1927

<sup>3</sup> E. GOLDBERG, a. a. O.

igsspielraum wesentlich kleiner<sup>1</sup> und außerdem noch abnehmend mit steiler werdender Gradation. Der somit bei harter Emulsion (soweit es sich um flache leichte Fernaufnahmen mit auszuwertendem Vordergrund handelt) vorhandenen Mangel der Fehlbelichtung steht freilich ein Vorteil der steilen Gradation gegenüber, bei ihr entspricht einer bestimmten Helligkeitsdifferenz (Abszissendifferenz) eine größere Schwärzungsdifferenz (Ordinatendifferenz) als bei weicher Emulsion (Bezuglich der charakteristischen Kurve einer Emulsion vgl. Bd IV des Handbuches, Beitrag Sensitometrie von F. FORMSTROHER).

Zur Forderung der Orthochromasie und hohen Allgemeinempfindlichkeit für Luftaufnahmen nicht unter 17 SCHWEINER-Grade — bei im allgemeinen mittlerer (bei terrestrischen Aufnahmen auch steiler) Gradation tritt noch die Forderung einer möglichst geringen Größe des Korns,<sup>2</sup> dessen Durchmesser Aufnahmeemulsionen heute zwischen  $1\mu$  und  $2\mu$  und in Diapositivemulsionen den untersuchten deutschen Fabrikaten im Durchschnitt unter  $0,8\mu$  liegt (Abb. 136). Außerdem ist bei Verwendung von Glasplatten als Emulsionsgeräten das Vorhandensein einer Schutzschicht gegen die Lichthofbildung erwünscht.<sup>3</sup>

Die oben schon erwähnten Vermessungsfilme AGFA und der ZEISS-IKON A-G genügen hinsichtlich ihrer Emulsionen den notwendigen Ansprüchen. Als Aufnahmeplatten haben sich für terrestrische Zwecke die „Topo-Platte“ (gelb-blauempfindlich, mit steiler Gradation bei mittlerer Allgemeinempfindlichkeit), für Luftbildmeßaufnahmen die „Flieger-Platte“ (vorwiegend gelbempfindlich, mittlere Gradation bei hoher Allgemeinempfindlichkeit), beide von der Firma PERUTZ in München, besonders bewährt.

Über die für die verschiedenen Emulsionen zweckmäßigen Entwickler und Entwicklungsmethoden<sup>4</sup> geben die herstellenden Firmen die erforderlichen Anweisungen.

Meist benutzt man als Entwicklersubstanz das Rodinal wegen seiner bequemen Handhabung. Auch das dem Hydrochinon verwandte Brenzcatechin hat sich bewährt, da bei ihm Schleierbildung nur in geringem Maße tritt. Mit Rücksicht auf den durch die nicht völlig ausschaltbare Wirkung des Lichtes hervorgerufenen Oberflächenschleier empfiehlt A. MERTHE<sup>5</sup> kraftige Entwicklung mit konzentriertem Entwickler. Für die Anwendung im Großreiß ist jedenfalls die Stand- oder Tankentwicklung mit einer auf mittlere Entwicklungsdauer abgestimmten Entwicklerkonzentration vorteilhaft.

Die Filmbänder der Reihenbildaufnahmen werden entweder vor der Ent-



Abb. 136 Mikrophotogramm des Korns der PERUTZ-Flieger-Platte (270 mal)

<sup>1</sup> Bei einem Objekumfang, der gleich der Helligkeitsdifferenz des Normallichtungsgebietes wäre, gäbe es nur eine einzige Belichtungszeit.

<sup>2</sup> Mit sinkender Korngröße steigt die Anzahl der abbildbaren Einzelheiten des Objekts und es wächst die Schärfe der Feldgrenze zwischen verschiedenen hellen Flächen. Über Versuche zur Erzielung eines feinen Korns durch das Entwicklungsfahren berichten A. u. L. LUMIERE und A. SEYEWITZ, Sc et Ind Phot 7, 1927, 18, 1928.

<sup>3</sup> Versuche zur Benutzung der Farbenphotographie für Meßzwecke sind noch nicht abgeschlossen, über ihr Ergebnis wird an anderer Stelle berichtet werden. Man vgl. hierzu auch A. MERTHE, Die Photographie a. d. Luft, Halle 1916.

<sup>4</sup> Siehe z. B. E. VOGEL, Taschenb. d. Photographie, Berlin 1909.

<sup>5</sup> Die Photographie a. d. Luft, Halle 1916. Vgl. auch A. JAFFÉ, Phot. Korr. 56, 9, S. 165, 189.

wicklung zerschnitten<sup>1</sup> oder im Ganzen, ebenfalls im Tankverfahren, entwickelt, gewässert und getrocknet. Das Filmband wird zu diesem Zwecke so

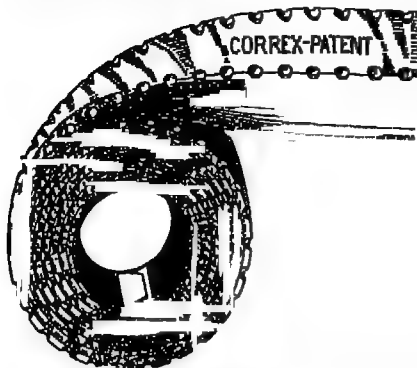


Abb 187 Film- und Correx-Band in gemeinsamer Wicklung

eine Rolle gewickelt, daß zwischen den aufeinander folgenden Lagen die entsprechenden Flüssigkeiten bzw. Luft zirkulieren können. Die Zirkulation wird dadurch ermöglicht, daß das Filmband gemeinsam mit einem Zellulosestreifen aufgewickelt wird, der halbkugelförmige Randaufweitungen (Abb 187) besitzt. Die zu diesem als „Correx-Entwicklung“ bezeichneten Verfahren gehörige Wickelrichtung zeigt Abb 13.

**32. Plattenwechsellkassetten** Die der terrestrischen Photogrammetrie gebrauchten einfachen Kassetten und Doppelkassetten (meist von der handelsüblichen Bauart<sup>2</sup>) sind

für Luftbildaufnahmen, insbesondere vom Flugzeug aus, ungeeignet, die hier im allgemeinen rasche Folge der Einzelaufnahmen erfordert. Benutzt man Kassetten mit größerem Plattenvorrat (meist 6 bis 12 Platten), so muß sie konstruiert sein, so daß durch wenige Handgriffe die belichtete Platte gegen eine unbelichtete ausgetauscht werden kann.

Abb 139 ist schematisch die Konstruktion einer solchen

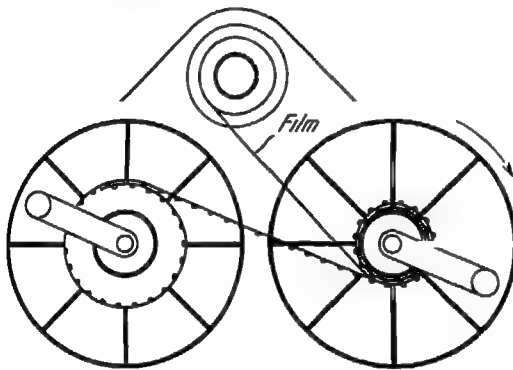


Abb 188 Schema der Correx-Wickelvorrichtung

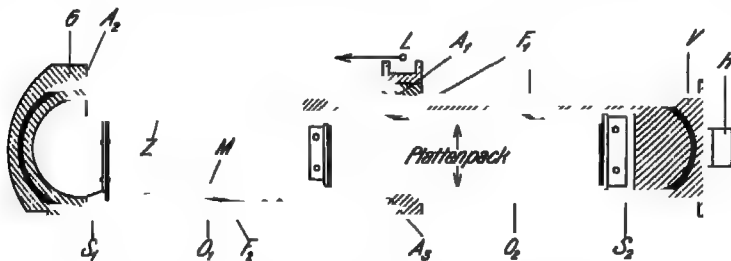


Abb 139 Konstruktionsschema einer Plattenwechsellkassette

Wechsellkassette dargestellt. Sie besteht aus dem Gehäuse *G* und dem Vorratskasten

<sup>1</sup> Die Bildgrenzen werden durch den Antriebsmechanismus fühlbar markiert.

<sup>2</sup> Gute Resultate gibt auch das von der amerikanischen KODAK-Gesellschaft hergestellte Entwicklungsgesetz, es sei aber darauf hingewiesen, daß häufig die individuelle Behandlung der einzelnen Filmabschnitte der maschinellen Entwicklung vorzuziehen ist.

<sup>3</sup> Eine besondere Konstruktion wurde von der Firma C. P. Götz-Berlin vorgeschlagen, vgl. D. R. P. Nr. 272828.

ler sich mittels des Handgriffes  $H$  bis zum festen Anschlag  $A_1$  aus dem Gehäuse  $G$  herauszieht. Bei der Befestigung des Gehäuses  $G$  am Kassettenrahmen der Kammer (Abb. 123) ist die Öffnung  $O_1$  dem Objektiv zugekehrt. Der luftdichte Abschluß der Öffnung geschieht durch seitliche Verschiebung der Leiste  $L$ , die den biegsamen Schieber  $S_1$  betätigt, bis zum Anschlag  $A_2$ . Bei eingeschobenem Vorratskasten legt sich die (in der Abb. 139) unterste Platte, und damit der ganze Plattenstapel, der unter dem Druck der Federn  $F_1$  steht, elastisch gegen den Rahmen in der Kammer. Nach der Belichtung wird der Vorratskasten aus dem Gehäuse gezogen. Dabei verschließt sich die Öffnung  $O_2$  des Kastens selbsttätig durch den am Gehäuse befestigten biegsamen Schieber  $S_2$ , und die belichtete Platte, zurückgehalten durch den Anschlag  $A_3$ , wird durch mehrere seitlichen Rande des Gehäuses angebrachte Federn von der Art der Feder  $F_2$  zur Zwischenwand  $Z$  emporgedrückt. Beim Wiedereinführen des Kastens  $V$  bettet die belichtete Platte selbsttätig hinter die oberste Platte des Stapels, während die jetzt unterste Platte fertig zur Belichtung ist. Zur Verhütung von Verschleiss und von Beschädigungen der Emulsion wird jede Platte in eine dünne Metallhülse  $M$  eingeschoben.

Es sind mehrfach — teilweise sehr interessante — Vorschläge für den mechanischen Antrieb derartiger Plattenwechsellkassetten gemacht worden.<sup>1</sup> Diese Kassetten haben sich aber, teils wegen ihres großen Gewichts, teils wegen häufiger Verschleissstörungen, wenigstens in Deutschland nicht einführen können, die in der Abb. 123 in Deutschland angewandte Konstruktion war der von NEUBURGER gegebene und von C. P. GOMZ gebaute Plattenreihenbildner (vgl. Int. Arch. Photographie 6, 1919/23, S. 270). Im Ausland ist die Konstruktion von REAR besonders bekannt geworden. Inzwischen haben derartige Konstruktionen in Deutschland wesentlich an Bedeutung verloren, da es (s. S. 116) gelungen ist, Filme zu entwickeln, die für Meßzwecke brauchbar sind.

**33. Filmwechsellkassetten.** Während bei Plattenwechsellkassetten die Konstruktionsschwierigkeiten mit wachsender Anzahl der Vorratsplatten wesentlich zunehmen, lassen sich Filmwechsellkassetten leicht für Filmbander von 50 bis 125 cm Länge einrichten, entsprechend etwa 350 Einzelaufnahmen bei einem Format von 12 × 12 cm. Dabei bleibt die Kassette klein, hat auch in gefülltem Zustand verhältnismäßig geringes Gewicht und kann ebenso leicht für Hand- als für Motorantrieb (Reihenbildner) gebaut werden.

Die verschiedenen im Handel befindlichen Kassetten unterscheiden sich nach der Art des Transports und der Planlegung des Films.

Der Filmtransport von der Vorratsspule  $V$  zur Aufwickelspule  $A$  (vgl. Abb. 140) soll zwangsläufig und so erfolgen, daß eine bestimmte, immer gleichbleibende Drehung einer Antriebskurbel  $K$  das Filmband  $F$  stets um eine dem Plattenformat entsprechende Stück weiter zieht. Wegen dieser Forderung darf der Antrieb nicht unmittelbar auf die Achse der Aufwickelspule wirken, da ja deren Durchmesser und damit auch der einer gleichbleibenden Achsdrehung entsprechende Transportweg immer mehr zunimmt, es denn, daß man der Aufwickelspule von vornherein einen so großen Durchmesser gibt, daß die relative Durchmesseränderung klein bleibt. Die dadurch bedingte Vergrößerung der Kassette macht diesen Weg aber besonders für Reihenbildner ungangbar. Ein immer gleich großer Transportweg kann auch durch Verwendung der an Kinematographen gebräuchlichen entsprechenden Ein-

<sup>1</sup> W. SIGEL, D. R. P. Nr. 330 697, W. LUDOVICI, Plattenwechsellkassette, D. R. P. 322 823, D. R. P. Nr. 378 106, D. R. P. Nr. 380 220 u. a. m. Vgl. auch A. H. LIER, La photographie aérienne pendant la guerre, Paris 1921.

richtungen<sup>1</sup> erzielt werden. Die hier zu einem einwandfreien Funktionieren notwendige beiderseitige Perforation des Filmbandes und andere wegen der im allgemeinen großen Streifenbreite viel Raum beanspruchende Sondereinrichtungen lassen diese Methode als unzuverlässig erscheinen. Als Ersatz für die Perforation hat man in Deutschland versucht, den immer gleich großen Vortransport durch

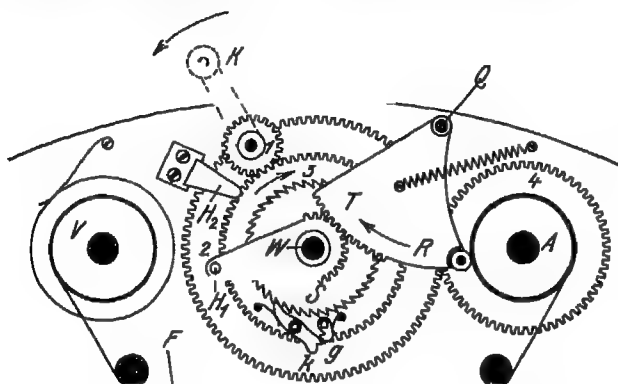


Abb 110 Filmtransport nach G. MÖLLER der AEROTOPEGRAPH G m b H in Dresden

Antriebsscheiben zu erzielen, deren scharfgezahnnte (geriffelte) Ränder das Filmband beiderseitig angreifen. Diese Transportart (Frikationsantrieb) kann nicht als zwangsläufig bezeichnet werden und dürfte durch Schlüpfen des Filmes häufig zu Fehlbelichtungen (teilweise Aufnahme auf dem schon belichteten Filmabschnitt) Anlaß geben. Die wichtigsten der zur Zeit eingeführten vollkommen

men zwangsläufig arbeitenden Transportvorrichtungen sollen nachstehend beschrieben werden.

Bei einer von der AEROTOPEGRAPH G m b H in Dresden verwendeten Anordnung (Abb 140) wird die Aufwickelspule A durch Drehung der Kurbel I unter Zwischenschaltung der Zahnräder 1, 2, 3 und 4 in Bewegung gesetzt. Die Zahnräder 1 und 4 sitzen fest auf den zugehörigen Wellen. Das Zahnrad

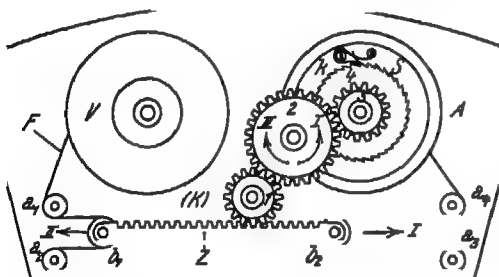


Abb 141 Filmtransport nach M. L. LENOUEL

dagegen läßt sich gegen die Welle W verdrehen, es steht mit dieser Welle nur zeitweilig in Verbindung und zwar durch Vermittlung des fest auf W angebrachten Sperrades S und der Klinke k. Die Verbindung wird dadurch gelöst, daß bei einer gewissen Stellung des Zahnrades 3 die Klinke k durch den Anschlag H aus der Verzahnung des Sperrades S herausgehoben und im gleichen Augenblick von dem federnden Greifer g erfaßt wird. Die Kurve

K läuft jetzt leer, denn trotz der Weiterdrehung des Zahnrades 3 ist das Zahnrad 2 und damit auch die Aufwickelspule A in Ruhe. Nach einer bestimmten weiteren Bewegung des Zahnrades 3 stößt der Greifer g gegen den Anschlag H<sub>2</sub> und gibt die Klinke k wieder frei, die sich jetzt vor neuem in das Sperrad S einlegt, so daß die Spule A ihre Tätigkeit wieder aufnimmt. Der Abstand der Leerlaufanschläge H<sub>1</sub> und H<sub>2</sub> und damit der Leerlauf selbst ist veränderlich, er muß offensichtlich um so größer

<sup>1</sup> H. LEHMANN, Die Kinematographie, Leipzig 1911

den, je größer der Durchmesser der Aufwickelspule infolge des zugewickelten Abandes geworden ist. Die Regulierung des Anschlagabstandes geschieht durch die auf dem Film aufsetzende Gleitrolle  $R$ , die an einem um die Achse  $Q$  drehbaren gezahnten Sektor  $T$  befestigt ist, der den Anschlag  $H_1$  entsprechend schiebt.<sup>1</sup>

Abb 141 zeigt die Transportvorrichtung von M. L. LENOUEVE (Firma LUS, Paris). Das Filmband läuft hier von der Vorratsspule  $V$  zur Aufwickelspule  $A$  über die vier festgelagerten Wellen  $a_1, a_2, a_3, a_4$  und außerdem über die 1 an den Enden einer verschiebbaren Zahnstange  $Z$  angebrachten Wellen  $b_1$  und  $b_2$ . Die nicht gezeichnete Antriebskurbel ( $K$ ) sitzt auf der Welle des Zahnrades 1. Bei einer Linksdrehung der Kurbel wird die Zahnstange  $Z$  nach rechts verschoben. Dadurch wird ein Stück des Filmbandes, das doppelt so lang als die Verschiebung der Zahnstange, freigegeben und sogleich von der durch Zahnräder 2 und 3 in Drehung gesetzten Spule  $A$  aufgewickelt. Zwischen  $a_2$  und  $a_3$  ist ein gleich langes Stück des Filmbandes selbsttätig abgewickelt worden.

Während des gesamten Vorganges ist bemerkenswerterweise zwischen den Rollen  $a_2$  und  $a_3$  ein Ende der Belichtung darzustellender Filmabschnitt bewegungslos geblieben (I Phase). Nach erfolgter Belichtung wird durch eine Rechtsdrehung der Kurbel  $K$  bzw. des Zahnrades 1 die Zahnstange nach links gegeben. Dadurch wird der bei der Belichtung eingegebene unbelichtete Filmabschnitt von der Rolle  $b_2$  in die Positionstellung gezogen (II Phase). Während dieser Phase 3 selbstverständlich die Aufwickelspule trotz der Drehung der Zahnräder 2 und 3 in Ruhe bleiben. Das wird dadurch ermöglicht, daß das Zahnrad 3 und das mit ihm fest verbundene Sperrrad 4 im allgemeinen auf der Achse der Spule  $A$  frei drehbar angeordnet sind. Die Verbindung dieser Räder mit der Spulennachse erfolgt mittels der auf letzterer fest angebrachte Scheibe  $S$ , auf der die federnde Klinke  $k$  sitzt. Diese Klinke läßt eine Übertragung der Drehung von 3 bzw. auf die Spule nur zu, wenn diese Drehung wie bei der I Phase linksläufig ist.

Eine von R. HUGERSHOFF angegebene Transporteinrichtung (AEROTOPOGRAPH G m b H, Dresden) zeigt Abb 142 in schematischer Draufsicht. Hier wird der mit zunehmendem Durchmesser der Aufwickelspule  $A$  notwendiger werdende Drehungswinkel dadurch erzielt, daß der Antrieb von  $A$  unter Umschaltung einer (bei gewissen Typen von Rechenmaschinen angewandten) Staffelwalze  $S$  geschieht. Die Staffelwalze sitzt gemeinsam mit dem Stirnrad 1 auf der Welle der Kurbel  $K$ . Je nach der Stellung des auf der Nutenwelle  $W$  verschiebbaren Stirnrades 2 wird eine volle Umdrehung der Kurbel  $K$  eine mehr

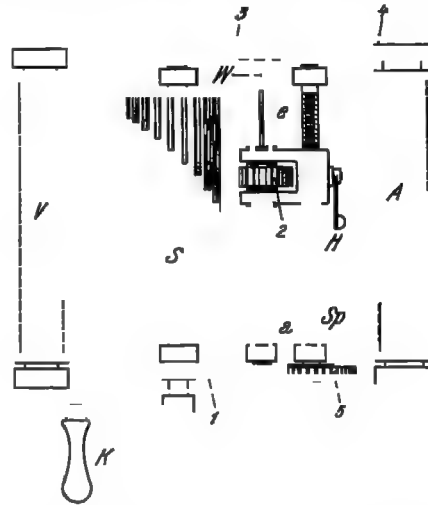


Abb 142 Filmtransport nach R. HUGERSHOFF der AEROTOPOGRAPH G m b H in Dresden

<sup>1</sup> Die hier verwendete Regulierung hat den besonderen Vorteil, daß sie auch bei verschieden dicken Filmen ohneweiters den richtigen Weitertransport ergibt.



oder weniger große Drehung der Sternräder 3 und 4 und damit auch der Spindel. Die von der Umdrehungszahl der Kurbel abhängige Stellung des Sternrades 2 wird durch die vom Sternrad 1 unter Vermittlung des Sternangetriebene Schraubenspindel *Sp* bewirkt<sup>1</sup>. Nach Ablauf des Filmbereichs befindet sich das Sternrad 2 in der Stellung *a*, vor Einlegung eines neuen Streifens ist das Rad durch Ausklinken der Transportmutter mittels des Hebels in die Anfangsstellung bei *e* zurückzubringen.

Zur Planlegung des Filmes sind im wesentlichen drei verschiedene Verfahren im Gebrauch. Abb. 143 zeigt eine pneumatische, nur für Handweckkassetten bestimmte Einrichtung der Firma CARL ZEISS<sup>2</sup>. Der von der Vorratsspule *V* zur Aufwickelspule *A* mittels des oben angedeuteten Friktionsantriebs geführte Film *F* wird an der (auch in der Ansicht von unten dargestellten) Planscheibe *P* vorbeigezogen, die im Kassettengehäuse fest angebracht ist.

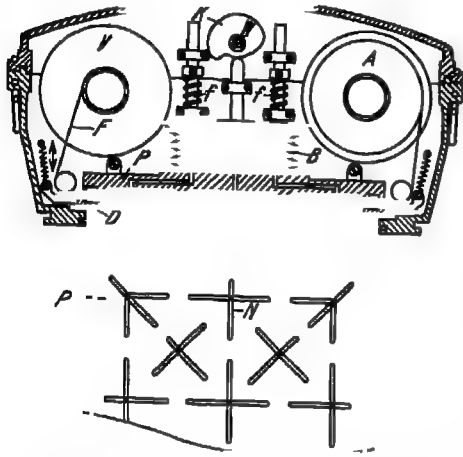


Abb. 143 Planlegung des Filmes durch Ansaugen (Firma C. Zeiss, Jena)

Die Planscheibe trägt auf ihrer unebenen Fläche eine Anzahl von Nuten *N*, durch Kanäle mit einem vom Balgen *B* gebildeten Raum in Verbindung stehen. Vor der Belichtung steht eine auf der Welle *W* sitzende, dem allgemeinen Antriebsmechanismus zwangsläufig verbundene Kurvenscheibe *K*, die im Balgen enthaltene Luft durch die Kanäle nach außen drückt. Bei der Weiterdrehung der Kurvenscheibe wird der Deckel des Balgenraumes unter dem Einfluß der Federn *f* in die Höhe schnell gezogen, so daß zwischen der Luft im Balgenraum und der Außenluft ein Druckunterschied entsteht, dem zufolge der Film von der Außenluft gegen die Planscheibe gepreßt wird<sup>3</sup>. Zur Erzielung einer völligen Abdichtung des Balgenraumes wird der Film kurz vor

der Ausdehnung des Balgenraumes durch eine das Bildfeld freilassende Druckplatte *D* gegen die Ränder der Planplatte *P* gedrückt. Der Mechanismus zur Betätigung dieser Druckplatte ist in Abb. 143 der Übersichtlichkeit wegen weggelassen. Bei Gebrauch ist sorgfältig darauf zu achten, daß die Betätigung zur Verschlußauslösung langsam erfolgt, da andernfalls die Saugvorrichtung nicht genug Zeit hat, um den Film noch vor der Belichtung an die Planplatte anzusaugen<sup>4</sup>. Die durch die Saugnuten verursachten Unebenheiten des Filmes können sich in manchen Fällen genauigkeitsmindernd bemerkbar machen.

Eine weitere, ebenfalls pneumatische Planlegungsvorrichtung, die bei Zeiss'schen Reihenbildnern Verwendung findet, ist in Abb. 144 dargestellt. Hier erfolgt die Anpressung des Filmes gegen die Planplatte *P* unmittelbar und

<sup>1</sup> Für verschieden dicke Filme sind Schraubenspindeln von verschiedener Höhe zu verwenden.

<sup>2</sup> D. R. P. Nr. 361853.

<sup>3</sup> Eine Ansaugvorrichtung für Filme wurde auch der LASTMAN KODAK patentiert (Amer. Pat. Nr. 1536335).

<sup>4</sup> Vgl. den bezüglichen Prospekt der Firma CARL ZEISS, Jena.

oh einen im Innern des Kammerkörpers *K* erzeugten Staudruck Voraussetzung für die Wirksamkeit desselben ist natürlich eine genügende Abdichtung Führungsnuten *N* der Kasse im Kammerkörper und ein sprechender Abschluß des inneren durch die Planplatte *P*, die zu dem Zwecke vor dem Einsetzen des Staukes den Film *F* gegen den Feldrahmen *B* der Kassette ist. Nach der Belichtung muß die Planplatte zurückgenommen werden, damit der Weitertransport des Filmbandes möglich ist. Für die mit dem Filmtransport und der Verschlussbewegung natürlich zwangsläufig gekoppelnde Bewegung der Planplatte wird eine ähnliche Vorrichtung benutzt, wie sie in Abb. 145 dargestellt ist. Die Planplatte wird dem Kammerkörper durch ein Rohr *R* zugeführt, das nach jeder Belichtung durch einen Schieber *S* verschlossen wird. Selbstverständlich ist auch der Schieber in zwangsläufige Verbindung mit dem hier schematisch durch die Kurbel *T* dargestellten Antrieb zu bringen, etwa in der Weise, daß auf der Antriebswelle *W* ein Hebel *H* angebracht wird, der bei jeder Umdrehung der Welle *W* den Schieber *S* einmal öffnet. Der Staudruck selbst wird gemäß dem Erfordernis durch die Bewegung des Flugzeuges erzielt. Die Beziehung der Kammer auf festen oder wenig ruhenden Standpunkten (Schiff) setzt also die Verwendung eines geeigneten Kompressors voraus.

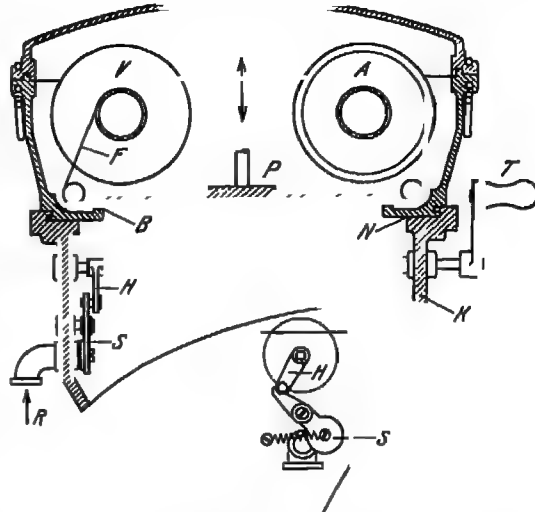


Abb 144 Planlegung des Films durch Staudruck (Firma C. Zeiss, Jena)

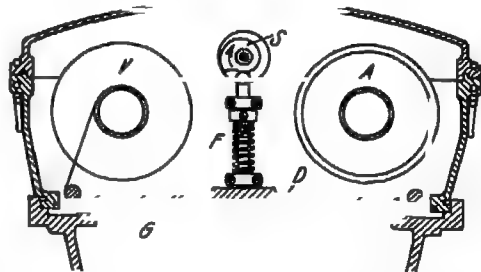


Abb 145 Planlegung des Films durch mechanische Anpressung an eine Glasplatte (AEROTOPOGRAPH G m b H in Dresden)

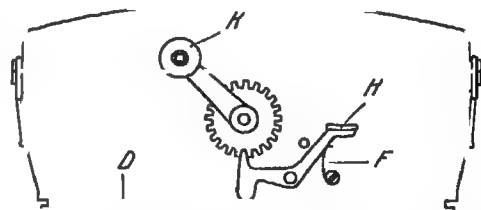


Abb 146 Transportsicherung nach G. MÖLLER (AEROTOPOGRAPH G m b H in Dresden)

Die wohl einfachste Methode der Planlegung des zu belichteten Filmabschnittes besteht darin, man (entsprechend dem Verfahren des AEROTOPOGRAPH G m b H in Dresden patentierten Verfahren)

den Film während der Belichtung gegen eine in der Kammer selbst festarrichtete planparallele Glasscheibe *G* (vgl. Abb. 145) drückt. Die Druckplatte

*D* wird dabei von einer mit der Transport- (Abb 140 oder 142) und Versch. einrichtung (Abb 132) zwangsläufig gekuppelten Kurvenscheibe *S* betätigt. In der gezeichneten Stellung dieser Scheibe hebt die Feder *F* die Drumscheibe *D* von der Glasplatte *G* ab und ermöglicht so den Weitertransport Filmes.

Die Einrichtung ist infolge ihrer Einfachheit unter allen Umständen betriebsicher und gewährleistet ein stets exaktes Planliegen des Filmes. Daneben gestattet die fest am Kammerkörper angebrachte Glasplatte als Lagerfläche für Film die Anbringung reeller Bildmarken unmittelbar in der Bildebene der Kammer und in fester Verbindung mit dieser, wodurch allein eine unmittelbare exakte Bestimmung der Kammerkonstanten (vgl. S. 157 ff.) möglich wird.

Die pneumatisch plangelegten Filme lassen sich in den üblichen Bildgeräten der Universal-Auswertgeräte nicht unmittelbar ausmessen, da hier die sprechende pneumatische Einrichtung zur Planlegung fehlt. Es müssen Diapositive der Aufnahmen auf Glasplatten hergestellt werden. Die vorhandenen Möglichkeiten<sup>1</sup> zur unmittelbaren Verwertung so erhaltener Filmnegative haben wohl nur theoretischen Wert, sie enthalten auf alle Fälle Fehlerquellen. Bei der mechanischen Planlegung der Filme ist deren unmittelbare und exakte Ausmessung ohne weiteres möglich, da hier die Bildträger teilweise mit einer Glasplatte auszurüsten sind, die der Glasplatte der Kammer entspricht.

Ebenso wie bei den Kammerverschlüssen (s. S. 114) sind auch an den Antriebsorganen der Kassetten Sicherungseinrichtungen zur Verhinderung Fehlbelichtungen praktisch von großem Wert. Eine derartige Einrichtung nach G. MÜLLER<sup>2</sup> (Kassetten der AEROTOPOGRAPH G. m. b. H. in Dresden) zeigt die Abb. 146, sie verhindert eine Betätigung des Filmtransportes (damit des Verschlussmechanismus) durch die Aufzugskurbel *K* bei nicht gezogenem Kassettendeckel *D*. Erst nach der Entfernung desselben gibt unter dem Druck der Feder *F* stehende Hebelklinke *H* das an der Welle der Antriebskurbel sitzende Sperrrad frei.

Über Antriebsmotoren für Wechsellassetten s. Reihenbildner (S. 151).

## B. Meßkammern für feste Aufstellung

**34. Kammern mit nicht neigbarer Bildebene.** Von den zahlreichen Konstruktionen von Kammern mit fester Bildebene, die nach einem Vorschlag R. THIELE<sup>3</sup> zweckmäßig als „Photogrammeter“ bezeichnet werden, kommen hier neben einigen besonders originellen Konstruktionen, nur diejenigen in Betracht, die gegenwärtig in der Praxis Verwendung finden. Bei Aufnahmen auf Forschungsreisen und im Hochgebirge haben sich wegen des geringen Gewichtes die im Folgenden zuerst genannten drei Photogrammeter als besonders geeignet erwiesen.

a) Photogrammeter nach R. HUGERSHOFF<sup>4</sup>. Das von G. HEYER in Dresden gebaute Instrument (Abb. 147) stellt eine feste Verbindung von

<sup>1</sup> Ausmessung durch eine zur Aufhebung der Verzeichnungsfehler lensesgeschliffene Glasplatte hindurch oder durch eine planparallele Glasplatte in Verbindung mit einem entsprechend korrigierten Objektiv. Bei Verwendung einer planparallelen Glasplatte allein, die bei größeren Bildformaten nicht unter 4 mm Dicke haben, erreichen die Verzeichnungsfehler den Wert von 35'', der unter Umständen von der Parallaxe eingeht.

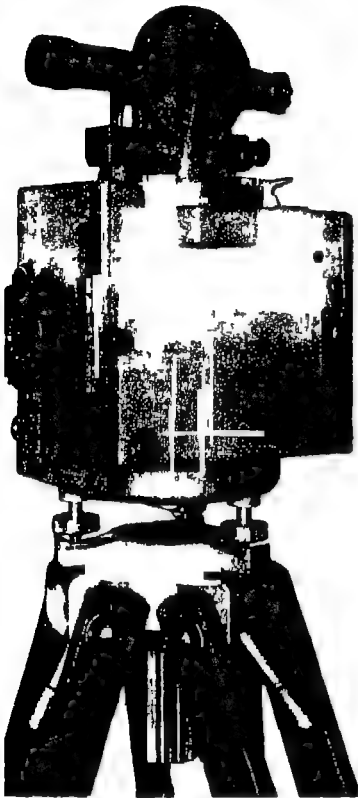
<sup>2</sup> D. R. P. Nr. 484873.

<sup>3</sup> R. THIELE, Phototopographie nach ihrem gegenwärtigen Stand. Moskau 1906 (in russischer Sprache).

<sup>4</sup> R. HUGERSHOFF, Int. Arch. f. Photogramm. 4, 1914, S. 210.

ner und Tachymetertheodolit dar. Das Plattenformat ist 9 12 cm, als achromatisches Objektiv wird ein mit Compurverschluß ausgerüstetes Tessar von 135 mm Brennweite mit einem Öffnungsverhältnis von 1 : 6,3 verwendet. Die Einzelplatten bestimmten Metallkassetten werden durch einfaches Anlegen dem Kassettenrahmen (Abb 123) verbunden, nach dem Aufziehen des Deckendeckels wird die Platte durch einen Druck auf den Kassettenrand gegen den Bildrahmen gepreßt und in dieser Stellung selbsttätig festgehalten. Nach erfolgter Belichtung wird durch Druck auf zwei seitlich angebrachte Knöpfe die Platte wieder zurückgebracht, so daß der Deckel wieder eingeschoben werden kann.

Das Objektiv läßt sich mittels Triebes um je 20 mm nach oben und unten verschieben, die Verschiebung kann an einer Millimeterteilung mit Nonius auf 0,02 mm abgelesen werden. Die vertikalen Bild-



147 Photogrammeter nach R. HUGERS-  
(AGROTOPOGRAPHIE G. m. b. H. in Dresden)

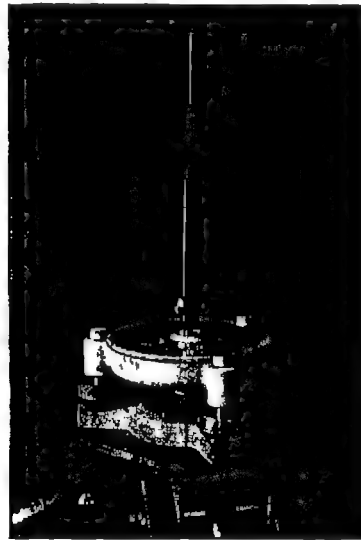


Abb 148 Zielmarke zum Photogrammeter  
nach R. HUGERSHOFF

en (Lochmarken) liegen in der Ebene des Bildrahmens und sind justierbar.

Die ebenfalls justierbaren horizontalen Bildmarken stehen in fester Verbindung mit dem verschiebbaren Objektiv, so daß sich die jeweilige Lage des Horizonts auch automatisch auf das Meßbild überträgt. Zwei am Kammerkörper angebrachte Rohrenlibellen ermöglichen die Horizontierung der Kammer- bzw. der Verbindungslinie der Horizontmarken. Die Stehachse der Kammer sitzt in der Buchse des gedruckten Dreifußunterbaues und besitzt eine Feinbewegung. Die Befestigung des Dreifußes auf dem Kopf des zusammenschiebbaren Beines versehenen Stativs geschieht durch eine Kurzung einer federnden Platte.

Die Berichtigung des Instruments wird eingehend dargestellt von H. LOSCHNER, I 48, 1928, S. 573.

Der auf der oberen Fläche des Kammerkörpers angebrachte Tachymetertheodolit hat ein mit Distanzfaden versehenes Fernrohr von 15facher Vergrößerung, das Fernrohr kann nach dem Ausheben aus den Kippachsen durchgeschlagen und umgelegt werden. Horizontal- und Vertikalkreis, mittels Nonien direkt Minuten Zwischen den Lagerböcken des Fernrohrs sitzt eine abnehmbare Rohrenbussole, mit deren Hilfe die Ablesung des Horizontalkreises gegen den magnetischen Meridian orientiert werden kann.

Zur Herstellung genau paralleler Aufnahmen von zwei Standpunkten (Normalstereogramme oder um  $30^\circ$  verschwenkte Stereogramme) werden auf den Basisendpunkten aufzustellende Stativ gleichzeitig benutzt. Während z. B. das Photogrammometer auf dem linken Endpunkt steht, wird eine Basis-

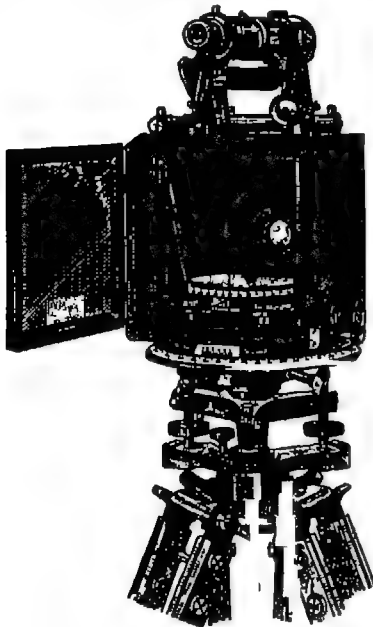


Abb 149 Photogrammometer nach BRIDGES-LEE

mit dem gleichen Dreifuß ausgestattete Basismarke (Abb 148) auf dem Stativ des rechten Basisendpunktes aufgestellt und mittel um  $90^\circ$  (bzw.  $60^\circ$  oder  $120^\circ$ ) gegen die Richtung der Kammerachse verschwenkt. Das Fernrohr des rechten Instrumentes wird in der Aufnahme bei unveränderter Stellung der Stativnähmehammer und Zielmarke vertauscht, bei der die Stehachsen beider Instrumente selbstständig genau in die gleiche Lage kommen. Hierauf erhält die Fernrohrzielmarke eine Verschwenkung von  $270^\circ$  (bzw.  $240^\circ$  oder gegen die Kammerachse, in dieser Stellung wird die jetzt auf dem linken Basisendpunkt stehende Zielmarke durch Drehung der Kammer um ihre Stehachse erneut eingestellt, die zweite Aufnahme gemacht.

Zur Erzielung der notwendigen Genauigkeit der Parallelität der Aufnahmerichtungen (etwa  $\pm 10''$ ) werden bei der linken Aufnahme die angegebenen Einstellungen am Horizontalkreis, sondern dadurch genommen, daß die Alhidade des Theodolits gegen feste, den angegebenen Richtungen entsprechende Anschläge gelegt wird. Auf dem rechten Standpunkt werden dieselben

Anschläge benutzt, um hierbei den linken Standpunkt anzielen zu können. Das Fernrohr durchgeschlagen und in seinen Lagern umgelegt. Das ist notwendig, um den Einfluß eines etwaigen Zielachsenfehlers unschadlich zu machen, der jetzt nur eine im allgemeinen bedeutungslose Parallelverschiebung der Aufnahmerichtungen erzeugt. Das Durchschlagen des Fernrohrs würde den Zielachsenfehler in doppelter Größe als Konvergenz oder Divergenz der Aufnahmerichtungen wirksam werden lassen.

Das Photogrammometer selbst wiegt 4,0 kg, sein Gewicht einschließlich Transportkoffer und sechs gefüllten Kassetten beträgt 7,8 kg.

b) Photogrammometer nach BRIDGES-LEE. Das in den Werken von C. F. CASSELLA in London hergestellte Instrument (Abb 149) ist ebenfalls eine feste Kombination einer Kammer mit einem Tachymetertheodolit. Dem Unterschied jedoch, daß hier die Zielebene des Fernrohrs stets die optische Achse der Kammer geht, so daß zur Messung horizontaler Richtungen das Fernrohr mitsamt der Kammer zu verschwenken ist. Demgemäß erfolgt

Richtungsablesungen an einem am Dreifußunterbau fest angebrachten Kreis. Die geschilderte Anordnung läßt Aufnahmen mit genau parallelen Aufnahmen nicht zu.

Das Plattenformat der Kammer ist etwa 9 × 12 cm, das Objektiv hat eine Innweite von 13 cm und ein Öffnungsverhältnis von 1 : 8. Als Verschluss wird der Aktivdeckel benutzt. Die Teilkreise geben Minuten direkt. Eine bemerkenswerte Sondereinrichtung dieses Photogrammeters ist eine im Innern des Kammerzylinders auf dessen unterer Fläche angebrachte Bussola, deren Magnetnadel in zylindrischen, durchsichtigen Teilkreis trägt, der dicht vor der Bildebene liegt. Infolgedessen wird die Teilung mitsamt dem Objekt auf dem Meßabgebildet, so daß sich (mit der Bildvertikalen als Index) das magnetische Nut jeder Aufnahme auf dieser unmittelbar bis auf 0,1° ablesen läßt.

Das Gewicht des Instruments mitsamt Transporten und Stativ beträgt 12,0 kg.

o) Photogrammeter nach S. FINSTERWALD<sup>1</sup>. Das jetzt von C. ZEISS in Jena hergestellte, falls mit vertikal verschiebbarem Objektiv versehene Instrument (Abb. 150) hat in seiner älteren Ausführungsform bei einer großen Anzahl von Hochgebirgsaufnahmen, insbesondere bei Gletscheraufnahmen, mit Erfolg Verwendung gefunden. Für die Aufnahmen werden Platten vom Format 13 × 18 cm benutzt, die nicht, wie heute allgemein üblich, in Kassetten, sondern einzeln in Säcken untergebracht sind. Vor der Belichtung wird ein gefüllter Sack am oberen Rand der Kammer am unteren Rand der hinteren Kammerwand befestigt. Die zu belichtende Platte gleitet durch einen Schlitz im oberen Rand vor den Bildrahmen und wird gegen diesen gepreßt, die belichtete Platte durch einen weiteren Schlitz im unteren Rand in den leeren Sack. Das Instrument gehört zu dem gleichen Typus wie das von BRIDGES-LEE. Der Horizontalkreis ist in fester Verbindung mit dem Dreifußuntergestell, die Kammerachse ist in der Zielebene des Fernrohrs verstellbar. Als solches dient hier (nach einer von L. P. ANTONI<sup>2</sup> und A. SCHMIDT<sup>3</sup> angegebenen Konstruktion)



Abb. 150 Photogrammeter nach S. FINSTERWALD der Fa. C. ZEISS, Jena

Kammerobjektiv selbst, in Verbindung mit einer (zunächst in der Mitte des Bildfeldes angebrachten) Lupe, deren Bildebene mit der der Kammerachse fällt. Die Einstellung hoch oder tief gelegener Punkte geschieht durch Verschiebung des Kammerobjektivs, die entsprechenden Vertikalwinkel ergeben sich aus der abzulesenden Verschiebung und der Bildweite der Kammer. Zur Vergrößerung des Meßbereiches dieses Ersatzfernrohrs benutzt FINSTERWALD die obere Stellung des Objektivs als Ausgangspunkt für die Messung der Tiefenwinkel und die untere als Ausgangspunkt für die Höhenmessung. Dementsprechend verwendet er auch zwei Okulare, wobei als Marken die fadenkreuzartig ausgebildeten Vertikalmarken der Bildebene

<sup>1</sup> S. FINSTERWALD, Die Photogrammetrie des Hochgebirges für wissenschaftliche Vorträge, gehalten bei der 2. Hauptversammlung d. Int. Ges. f. Photogramm., III 1927.

<sup>2</sup> E. DOLLZAR, Die Anwendung d. Photographie in der Meßkunst, Halle a. S., 1911, und M. WITTS, Die geschichtl. Entwickl. d. Photogrammetrie, Stuttgart 1913.

<sup>3</sup> FR. SCHMIDT, Die photogr. Meßkunst, Halle 1892.

dienen. Die optischen Achsen der Okularlupen müssen stets nach der M. Objektive gerichtet sein, die Okulare sind deshalb um horizontale Achse bar und werden durch Hebel gesteuert, die sie mit dem Kammerobjekt binden. Das letztere ist ein Orthoprotar von 16 cm Brennweite und ein nungsverhältnis von 1:7,7. Als Verschluss dient der Objektivdeckel. Aus Gerät besitzt keine Einrichtung zur Ausführung genau parallel ger Stereoaufnahmen.

Das Gewicht der gesamten Ausrüstung beträgt einschließlich sechs 10,1 kg.

d) Photogrammeter nach E. DOLEŽAL<sup>1</sup>. Bei Aufnahmegröße größere Plattenformate als 9/12 cm wird eine feste Verbindung der K mit einem vollständigen Theodolit im allgemeinen zu unhandlichen und e lichen Konstruktionen führen. Deshalb

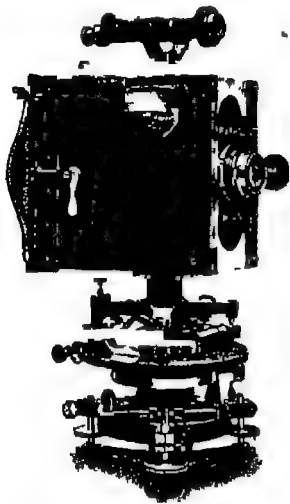


Abb 151 Photogrammeter nach E. DOLEŽAL der Fa. R. & A. Rost in Wien

DOLEŽAL schon 1896 vorgeschlagen, das Auf gerät so zu bauen, daß die Kammer im l falle vom Unterbau abgenommen und d Theodolitfernrohr mit Höhenkreis ersetzt kann. Die Verwirklichung dieses Gedanke: Abb 151. Der für das Plattenformat 13 gebaute Kammerkörper ist mit einem ( Orthoprotar 1:7, Brennweite 19 cm) v das um  $\pm 50$  mm vertikal verschoben werde. Die Verschiebung kann mittels Nonius a 0,01 mm abgelesen werden, sie wird ab automatisch durch die gemeinsam mit d ektiv verschiebbaren Horizontmarken e Meßbild übertragen. Der Kammerkörper i drei Spreizen, die mit einer einfachen Kle richtung auf der Alhidade eines Horizont (mit Repetitionseinrichtung) befestigt können, den ein normaler Dreifußunterba. Auf dem Kammerkörper befindet sich auf Kastenbussole ein um etwa  $\pm 10^\circ$  kippbare tierungsfernrohr, das in seinen Lagern u werden kann. Die Zielebene dieses Fernroh

halt die Kammerachse, sie kann aber im Gegensatz zu den K tionen von BRIDGES-LEE und FENSTERWALDER unter Benutzung eine Anschlages auch winkelrecht zur Kammerachse gestellt werden. Die schwenkbarkeit des Fernrohres in Verbindung mit der Möglichk selbe umzulegen, gestattet, wie erwähnt, die Herstellung exakter stereogramme, zu deren Durchführung ein zweites Stativ und e sprechende Zielmarke benutzt wird. Für Panoramaaufnahmen, bei de eine bequeme Ausarbeitung die Einhaltung von bekannten und gleich Richtungsdifferenzen zwischen den Einzelaufnahmen praktisch erwun wurde unterhalb des Horizontalkreises eine besondere „Panorama angebracht, die in Abständen von genau  $45^\circ$  zylindrische Bohrungen mit denen ein an der Alhidade befestigter Stahlbolzen nach Bedarf in gebracht werden kann.

Zur Ausführung trigonometrischer oder tachymetischer Messung der Spreizenuntersatz der Kammer von der Horizontalkreis Alhidad

<sup>1</sup> E. DOLEŽAL, Int. Arch. f. Photogramm. 6, 1910/23, S. 219

an Stelle der Kammer ein Theodolitoberbau (durchschlagbares Fernrohr Höhenkreis, Alhidadenlibelle und zwei Nivellen) mit Hilfe eines genau identischen Spreizenuntersatzes gebracht

e) Photogrammeter von C ZEISS-Jena<sup>1</sup> Bei diesem Gerät ist mit Rücksicht auf sein großes Gewicht (die Kammer allein wiegt ohne Stativ bereits 11,1 kg) gegenüber allen modernen Aufnahmekammern die Trennung vom Theodolit am strengsten durchgeführt. Das für das Plattenformat 13 × 18 cm eingerichtete Photogrammeter (Abb. 152) besitzt also auch keinen Horizontalkreis, der in vielen Fällen recht

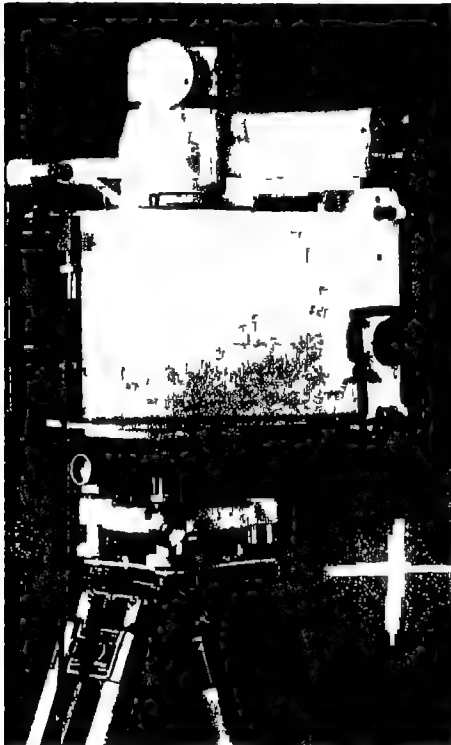


Abb. 152 Photogrammeter Modell C S/b der Fa. C. ZEISS, Jena

vorteilhaft ist. Die für den Anschluß der Standpunkte an übergeordnete Punkte notwendigen Messungen sind mit einem besonderen Theodolit auszuführen, der entweder auf einem eigenen Stativ benutzt wird oder nach dem Herausheben aus seinem Dreifußunterbau in den des Photogrammeters eingesetzt werden kann.

Die Vergrößerung des Aufnahmebereiches wird hier nicht durch eine Verschiebung des Objektivs, sondern durch Verwendung von drei ver-

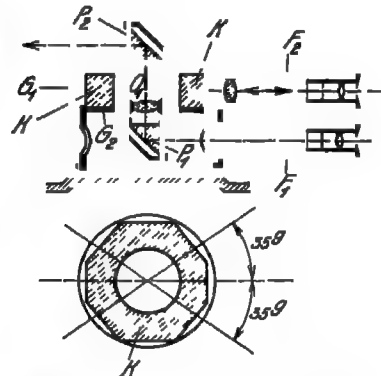


Abb. 153 Orientierungsaufsatz zum Zeiss'schen Photogrammeter

übereinander fest angeordneten Objektiven (Orthoprotare, Brennweite 19 cm, Vergrößerungsverhältnis 1 : 25) erzielt. Als Verschuß dienen Klappdeckel, die durch einen Drahtauslöser betätigt werden. Jedem Objektiv sind feste Horizontkreise zugeordnet, durch eine sinnreiche Einrichtung ist dafür gesorgt, daß dem Meßbild sofort erkennbar ist, mit welchem der drei Objektive die Aufnahme gemacht wurde. Durch von außen einstellbare Nummern bzw. Buchstaben können auf jeder Aufnahme deren Nummer, Standpunkt (links oder rechts) Art (normal, links oder rechts verschwenkt) angegeben werden.

Zur Herstellung genau achsparalleler Aufnahmen wird bei diesem Photogrammeter an Stelle der oben beschriebenen mechanischen Einrichtungen ein optisches Verfahren benutzt. Das zur Einstellung der benachbarten Station dienende Zielfernrohr  $F_1$  (Abb. 153) — mit dem Prisma  $P_1$  vor dem Objektiv  $O_1$ , dem Prisma  $P_2$  hinter demselben — ist an dem zylindrischen Gehäuse  $G_1$

<sup>1</sup> F. SCHNEIDER, Bildmessung u. Luftbildwesen 2, 1927, S. 95



befestigt. Das letztere und damit auch das Fernrohr  $F_1$  kann um das auf der Kammer fest angebrachte Gehäuse  $G_2$  verschwenkt und unter beliebigen Winkel gegen die Kammerachse eingestellt werden. Zur Einstellung der für Normalstereogramme und verschwenkte Aufnahmepaare vorgeschriebenen Winkel an dem ersten Standpunkt und insbesondere zur Einstellung der entsprechenden genau um  $180^\circ$  verschiedenen Winkel auf dem Nachbarstandpunkt ist mit dem Fernrohr  $F_1$  ein zweites Fernrohr  $F_2$  achsparallel und starr verbunden. Weiter ist auf dem inneren festen Gehäuse  $G_2$  ein prismatischer Körper  $K$  angebracht, der mit acht vertikalen spiegelnden Flächen versehen ist (vgl. Grundriß in Abb. 153), wobei die sich gegenüberliegenden Flächen parallel sind. Die Spiegelflächen normaler zweier dieser Flächenpaare stehen winkelrecht zu einander, sie sind zugleich parallel bzw. winkelrecht zur Kammerachse. Die Normalen der beiden anderen Paare bilden mit der Normalen eines der ersten Paare je einen Winkel von  $35^\circ$  (entsprechend  $31,5^\circ$ ). Beleuchtet man nun in geeigneter Weise die Zielmarke im Fernrohr  $F_2$ , so werden die von ihr ausgehenden Lichtstrahlen durch das Objektiv als Parallelbündel verlassen und, von der vor dem Objektiv liegenden Spiegelfläche reflektiert, wieder in das Fernrohr  $F_2$  zurückkehren. Hier sieht man jetzt neben der Zielmarke ein Spiegelbild derselben. Werden durch entsprechende Drehung des Gehäuses  $G_1$  Zielmarke und Spiegelbild zur Deckung gebracht, so hat die Zielachse von  $F_2$  und damit auch die des Fernrohrs  $F_1$  die Richtung der Spiegelnormalen. Durch Wiederholung dieser „Autokollimation“ an den verschiedenen angegebenen Spiegelflächen kann also dem Zielfernrohr  $F_1$  die jeweils vorgeschriebene Stellung zur Kammerachse mit großer Genauigkeit gegeben werden. Die bei Stereoaufnahmen auf der Nachbarstation aufzustellende Zielmarke läßt sich wie die Kammer aus ihrem Dreifußunterbau herausheben, letzterer ist identisch mit dem der Kammer, so daß beim Austausch von Kammer und Zielmarke die Dreifüße auf ihren Stativen verbleiben.

Die Messung der Horizontalprojektion der Basis kann selbstverständlich direkt mittels Stahlbandes oder auf optischem Wege mit vertikaler oder horizontaler Distanzlatte geschehen. Zur Anwendung des letzteren Verfahrens werden dem Zeisschen Instrument zwei zerlegbare Latten von 1 m bzw. 3 m Länge beigegeben, die ebenfalls auf dem Universaldreifuß befestigt werden können. Die Messung des Winkels zwischen den Endpunkten der Latte<sup>1</sup> erfolgt mittels einer am Theodolit (nicht an der Kammer) angebrachten, in der praktischen Geodäsie allgemein bekannten Tangentenschraube,<sup>2</sup> die Berechnung der Basis geschieht nach der Formel

$$B = \frac{20000 \cdot l}{n}$$

worin  $l$  die Länge der Basislatte und  $n$  die Anzahl der Trommelintervalle der Tangentenschraube ist, um die letztere bei der Verschwenkung des Zielfernrohrs vom linken zum rechten Basisendpunkt gedreht wurde. Vgl. auch S. 139.

Die gesamte Ausrüstung, in drei zweckmäßig angeordneten Tragkisten verpackt, wiegt, einschließlich 48 Platten in Holz-Einfachkassetten, 65,8 kg.

f) Stationäre Photogrammeter von CARL ZEISS in Jena.<sup>3</sup> Für die wiederholte Aufnahme veränderlicher Vorgänge oder bewegter Objekte (z. B. Wellen- und Wolkenaufnahmen, Festlegung der Bahnelemente von Geschossen oder Flugzeugen, vgl. S. 8) von einer starren Basis aus, deren Orientierung im Raum entweder nicht interessiert oder ein für allemal festgelegt wird, bedürft die paarweise zu verwendenden Aufnahmeapparate selbstverständlich nur ein

<sup>1</sup> M. BOHLER, Mitt. d. deutsch. Schutzgeb. 18, 1905, S. 1.

<sup>2</sup> Vgl. z. B. P. WERKMEISTER, ZS. f. Verm. 51, 1922, S. 321, 353.

<sup>3</sup> C. PULFRICH, ZS. f. I. 28, 1908, S. 72.

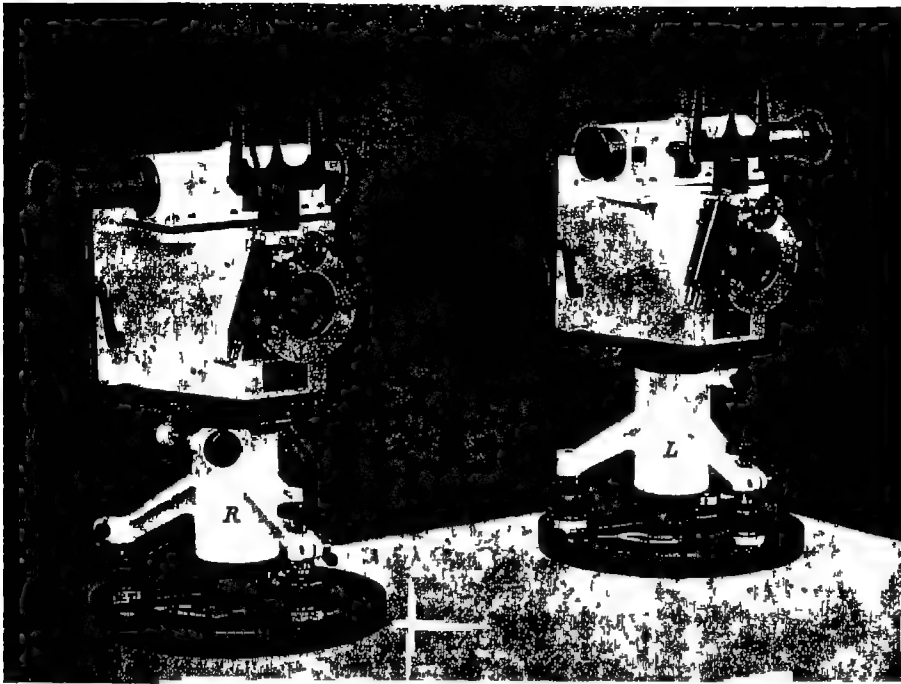


Abb 154 Stationäre Photogrammter von C. ZEISS in Jena

nrichtung zur gegenseitigen Orientierung in derartiges Kammerpaar, das besonders für Aufnahmen vom Schiff aus konstruiert wurde, in Abb 154 dargestellt. Die starr mit dem Ummerkörper verbundenen Fernrohre dienen der gegenseitigen Anzielung und ermöglichen die Herstellung exakter Normalstereogramme. Die genau gleichzeitige Auslösung der beiden Montverschlüsse erfolgt mit Hilfe von Elektromagneten. Das Plattenformat ist 9/12 cm, die Brennweite der Objektive beträgt 127 mm. Da die Kammer fest angeordnet sind, kommen nur Aufnahmen von Objekten in Frage, die sich innerhalb eines vertikalen Gesichtsfeldwinkels von  $\pm 17^\circ$  befinden.

g) Stationäre Photogrammeter von C. P. GOERZ, A.-G.<sup>1</sup> Bei den Goerz'schen Stationär-Photogrammetern ist die Kammerachse vertikal gerichtet, die Aufnahmeplatten (vom Format 9/12 cm) liegen also horizontal. Für

die Aufstellung der Kammer, die zunächst die Festlegung von Geschosßbahnen nahe der Vertikalebene durch die Kammerachsen bestimmt waren, sind sie aber ebenso gut zur Messung der Geschwindigkeit von

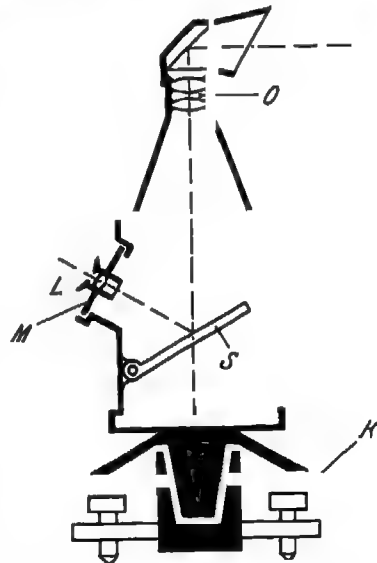


Abb 155 Konstruktionschema des Feldphotogrammeters von C. P. Goerz in Berlin

<sup>1</sup> I. Dornier, Int. Arch. f. Photogramm. 6, 1919/23, S. 274

Wolken<sup>1</sup> und Flugzeugen eignen, sind Steupfeiler vorgesehen. Die gegenseitige Orientierung erfolgt — abgesehen von der selbstverständlichen Horizontierung durch Libellen — wieder durch fest mit dem Kammerkörper verbundene Fernrohre, denen wechselseitig besondere Zielmarken an den Kammerachsen entsprechen. Die Objektive (Dagor 1 6,8, Brennweite 300 mm) werden gleichzeitig elektrischem Wege ausgelöst, die Zeitpunkte der Aufnahmen können einem Chronographen registriert werden. Der Gesichtsfeldwinkel winkeln zur vertikalen Ebene durch die Kammerachsen beträgt etwa  $\pm 8^\circ$ . Bei Verwendung entsprechender Vorsatzprismen vor den Objektiven ließe sich die Ebene der äußeren Kammerachsen selbstverständlich auch horizontal legen.



Abb 156 Photogrammeter für Tatbestandsaufnahmen nach Fr. Eichberg

Die Firma GOERZ hat auch ein Feldphotogrammeter mit horizontal<sup>2</sup> liegender Platte konstruiert (Abb 156), das für militärische Zwecke insofern von Bedeutung ist, als die Aufnahmen aus einer Deckung heraus gemacht werden können. Zur Festlegung der Aufnahmerichtung dient ein am Dreifußunterbau festigter Horizontalkreis *K*, als Zielfernrohr wird schon beschriebener Weise das Objektiv *O* der Kammer in Verbindung mit einer Lupe *L* benutzt, deren Fokalebene das von *O* erzeugte Landschaftsbild durch klappbaren Spiegel *S* zugeführt wird. An Stelle der Lupe kann eine Mattscheibe *M* eingesetzt werden, als Bildsucher dient. Durch Vertikalstellen des Spiegels wird der Innenraum für die Aufnahme freigegeben.

Das Objektiv besitzt eine Brennweite von 60 cm und ein Öffnungsverhältnis von 1 : 20, das Plattenformat ist 9 : 12 cm.

h) Photogrammeter mit Meßgitter nach FR. EICHBERG<sup>3</sup>. Die von G. HEYDE in Dresden gebaute Kammer (Abb 156) ist ausschließlich für Entfernungs- (insbesondere bei der polizeilichen Festlegung eines Tatbestandes) bestimmt, nach der die Objektrekonstruktion mit Hilfe eines Meßgitters (Abb 17, S. 16) vorgenommen wird. Entsprechend der hier vorauszusetzenden konstanten Höhe

des Objekts über der Grundrißebene ist das Instrument auf einem Stativ von unveränderlicher Länge befestigt. Ein Dreifußuntergestell in Verbindung mit zwei Röhrenlibellen dient zur Vertikalstellung der Bildebene, in der das auf eine planparallele Glasscheibe gravierte Meßgitter liegt. Gegen diese Scheibe wird die lichtempfindliche Schicht der Aufnahmeplatte der gleichen Weise gepreßt, die bei dem Photogrammeter nach HUGERSHOFF beschrieben wurde. Auf die durch die Planscheibe bedingten Verzerrungsfehler ist bei der Konstruktion des Netzes Rücksicht genommen.

Das Plattenformat ist 18 : 24 cm, als Objektiv wird ein Protar von 18 cm Brennweite verwendet. Zur Herstellung gewöhnlicher Aufnahmen ganz in der Nähe des Objekts kann das Meßgitter entfernt und das Objektiv in seiner Fassung

<sup>1</sup> An dieser Stelle sei auch der „Wolkenautomat“ nach SPRUNG erwähnt, hierzu R. STÜRING, Veröff. d. Preuß. Meteorol. Inst. 7, 1922.

<sup>2</sup> Die horizontale Plattenlage wurde wohl zuerst bei dem photograph. Meßgerät von A. CHEVALIER angewandt, vgl. FR. SCHIFFNER, Die photogr. Meßk. Halle 1892.

<sup>3</sup> E. DOLEŽAL, Int. Arch. f. Photogram. 5, 1916, S. 140.

hend verschoben werden. Die dem Meßgitter zugeordnete Bildweite ist h einen besonderen Anschlag mit Feststelleinrichtung gekennzeichnet.

1) Photogrammometer für Rollfilm nach R. PROHASKA<sup>1</sup>. Das als "10-Phototheodolit" bezeichnete, A. FROMME in Wien hergestellte Instrument (Abb 157) gehört zu dem Typus wie die Konstruktion BRIDGES LEE, nur daß bei ihm das Objektiv (Brennweite 9 cm) um bare Beträge vertikal verschoben werden kann.

Im übrigen ist das Gerät besonders bemerkenswert als erste terrestrische Meßkammer für Aufnahmen auf plangelegtem Film bei zwangsgewinnelter Kuppelung des Filmtransportes dem Spannungs- bzw. Auslösungsmechanismus des Verschlusses.<sup>2</sup> Die Handkurbel für den Weitertransport des Filmes bewirkt gleichzeitig eine Umdrehung der Kammer um ihre vertikale Achse und zwar ist die Einrichtung so getroffen, daß nach je 80° horizontaler Verschwenkung automatische Belichtung erfolgt. Da der rechte Bildfeldwinkel der Kammer

30° beträgt, so weisen die aufeinanderfolgenden Bilder eine (unnötig) reichliche Deckung auf, aus der sich eine Kontrolle der Verschwenkung ergibt.<sup>3</sup> Die Glasplatte, gegen die der Film gepreßt wird, ist in einem Netz wagrechter und senkrechter Geraden versehen, der Abstand der einzelnen Geraden ist konstant und beträgt 1 mm.<sup>4</sup> Das für die unmittelbare Richtsinnnahme bestimmte Netz kann diesem jedoch also nur angenähert dienen.<sup>4</sup>

2) Panoramakammer nach J. W. BAGLEY.<sup>5</sup> Zur Aufnahme kontinuierlicher Panoramen (mit einem horizontalen Bildfeldwinkel von meist etwa 180°) auf einer runden Fläche sind besondere Kammer-

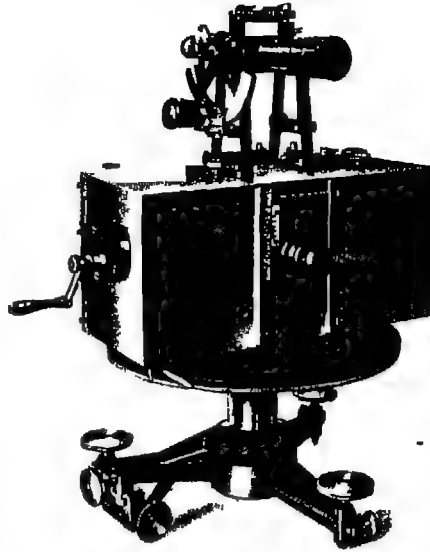


Abb 157 Photogrammometer mit Rollfilmkassette und zwangsläufiger Verschlussbetätigung nach R. PROHASKA von A. FROMME in Wien

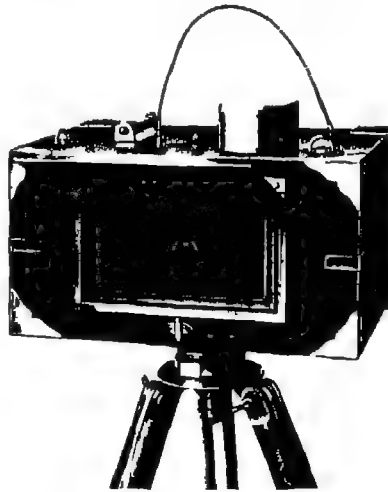


Abb 158 Panoramakammer nach J. W. BAGLEY

<sup>1</sup> E. DOLEŽAL, Int. Arch. f. Photogram. 11, S. 143.

<sup>2</sup> Ein ähnliches Photogrammometer benutzt Ludwig B. SRIEWACK für Start- und Landungsmessungen von Flugzeugen, vgl. S. 31, Fußnote 2.

<sup>3</sup> Vgl. z. B. S. FINSTERWALDER, Die geom. Grundlagen d. Photogrammetrie, 1897.

<sup>4</sup> Über exakte Winkelgitter vgl. S. 43.

<sup>5</sup> J. W. BAGLEY, The use of the panoramic camera in topographic surveying, London (U. S. Geological Survey) 1917.

konstruiert worden, von denen eine der ersten der Zylindrograph M. MOISSARD<sup>1</sup> war. Eine umfassende praktische Anwendung hat wohl die Panoramakammer von BAGLEY (Abb 158) gefunden. Der etwa breite Film wird von der Vorratsspule zur Aufwickelspule hinter eine zylindrische Glasfläche vorbeigeführt, deren Halbmesser der Breite (13,5 cm) des Aufnahmeobjektivs entspricht. Letzteres, ein Tessar, dem Öffnungsverhältnis 1:6,3, ist um eine durch den bildseitigen Punkt gehende vertikale Achse drehbar. Mit der Fassung des Objekts ist ein lichtdichter Schacht fest verbunden, der in einen etwa 1 cm breiten optischen Spalt unmittelbar vor der Glasfläche endigt. Die Belichtung erfolgt durch entsprechend rasche Vorüberführung des Spaltes vor dem Film, wozu ein regulierbarer Federantrieb unmittelbar auf die Drehscheibe des Objektivs wirkt. BAGLEY hat zu diesem Zweck eine Vorrichtung, die „Alhidade“ konstruiert, mit der man die plangelegten Papierabzüge der zylindrischen Aufnahmen (unter Berücksichtigung des Breitenwinkels) unmittelbar horizontal entnommen kann.

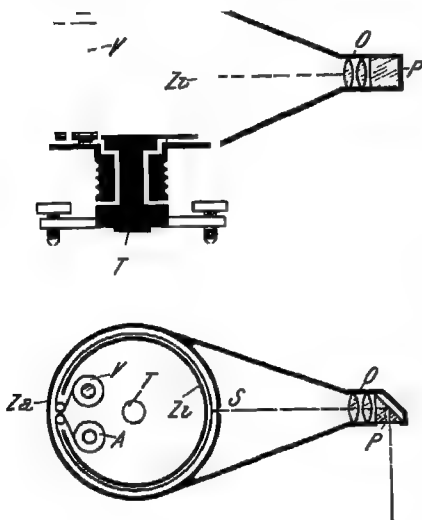


Abb 158 Schema der Panoramakammer nach A. PELLETAN

Zur Aufnahme von Panoramen mit einem horizontalen Bildfeldwinkel von 360° hat A. PELLETAN (Firma MAILLON Paris) eine Kammer konstruiert (Abb 159), bei der der Film nicht durch einen zylinderförmigen Spalt, sondern unmittelbar durch einen schmalen vertikalen Spalt  $S$  hindurchgeführt wird. Der Film wird zu dem über die äußere Fläche eines metallenen vertikalen Kreiszylinders  $Z_1$  geführt, in dessen Innerem die Vorratsspule  $V$  und die Aufwickelspule  $A$  untergebracht sind. Der Zylinder  $Z_1$  ist durch eine vertikale Achse  $T$  fest mit dem Dreifußunterbau verbunden. Ein weiterer Zylinder  $Z_2$  läßt sich um die Achse  $T$  drehen und schließt

den Zylinder  $Z_1$  lichtdicht bis auf einen schmalen vertikalen Spalt  $S$  ab, durch den das Objekt  $O$  mit dem vorgeschalteten Prisma  $P$  angeordnet ist. Die Belichtung erfolgt auch hier während der Drehung des Objekts durch den Spalt  $S$  hindurch. Als Antriebskraft hat PELLETAN ein sinkendes Gewicht vorgeschlagen, dessen Fallgeschwindigkeit durch eine hydraulische Bremsvorrichtung in eine gleichförmige Geschwindigkeit umgeformt wird. Zu der Kammer gehört ein besonderes Auftragegerät, das die Rekonstruktion der Grundrisse auf zwei so gewonnenen Panoramen dargestellten Objekts ermöglicht.

**35. Kammer mit neigbarer Bildebene.** Die Kammer mit neigbarer Bildebene,<sup>2</sup> die nach R. THIELE (vgl. S. 126) zweckmäßig als „Phototheca“ zu bezeichnen sind, haben seit der Konstruktion von Universal-Auswertegeräten (Autokartograph, Stereoplanograph, Aerokartograph) und mit gewissen

<sup>1</sup> FR. STEINER, Die Phototopographie im Dienste d. Ingenieurs, Wien 1861. Abbildung dieses Geräts bringt u. a. M. WEISS, Gesch. d. Entwicklung usw., Göttingen 1913.

<sup>2</sup> E. DOLEŽAL, Int. Arch. f. Photogrammetrie 5, 1915, S. 52.

<sup>3</sup> Das erste Gerät dieser Art wurde 1884 von L. P. PAGANINI konstruiert. FR. SCHIFFNER, Die phot. Meßkunst, Halle 1892.

Frankungen auch Autograph) außerordentlich an Bedeutung gewonnen. Die r Aufnahmen mit horizontalen und besonders parallelen Achsen häufig sehr schwierigen Erkundungsarbeiten werden die Verwendung von Phototheodoliten verkürzt und vereinfacht, der Nutzungsum eines Aufnahmepaares wird meist wesentlich vergrößert und damit die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens gesteigert.

a) Phototheodolit nach C. KOPPE.<sup>1</sup> Das 1888 von RANDHAGEN in Hannover (später von O. GÜNTHER in Braunschweig) gebaute Instrument ist im wesentlichen ein Theodolit mit exzentrischem Fernrohr, dessen Kippachse die Arm einer konischen Büchse hat, die in entsprechend ausgebildeten Körper der Kammer aufnimmt (Abb. 160). Soll der Theodolit nur etwa zu Anschlußmessungen benutzt werden, so läßt sich die Kammer leicht aus der Lagerbuchse entfernen. Die hier erstmalig angewandte Art der Zerlegung eines Phototheodolits ist sehr zweckmäßig. Der Phototheodolit besitzt alle Einrichtungen zur unmittelbaren und selbständigen Orientierung der einzelnen Aufnahmen, nach Entfernung der Kammer ergibt sich ein verhältnismäßig leichtes Winkelmeßgerät, so daß die besondere Mitnahme eines solchen erspart wird.

Die KOPPEsche Konstruktion ist vor allem bekannt geworden durch eine Sonderanrichtung, die ihr

<sup>1</sup> C. KOPPE, Die Photogrammetrie oder die Kunst, Weimar 89.

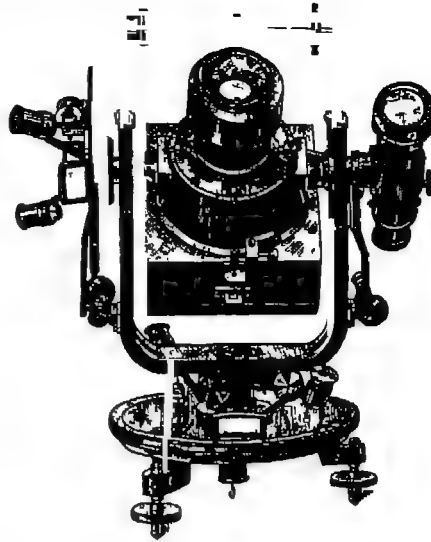


Abb. 160 Phototheodolit nach C. KOPPE von O. GÜNTHER in Braunschweig

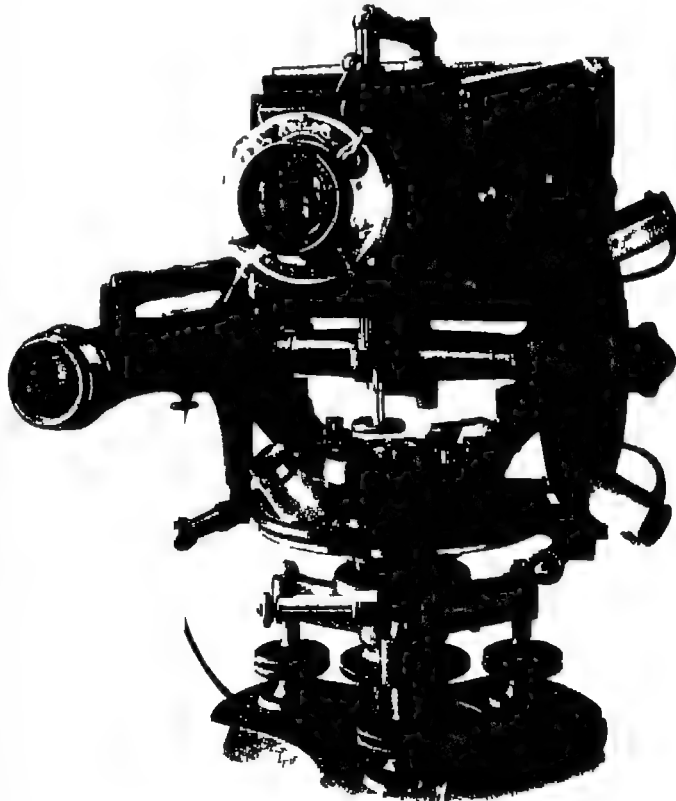


Abb. 161 Phototheodolit von BREITHAUPT & SOHN in Kassel

1895 gegeben wurde<sup>1</sup> und durch die sie (mittels eines besonderen zentr. Fernrohres und eines besonderen Kammerhalters) zu einem Bildmeßst. lten ausgestaltet wurde<sup>2</sup>.

Die Kammer (quadratisches Plattenformat, 12 · 12 cm) ist mit Collinear von VOIGTLÄNDER & SOHN A.-G. in Braunschweig ausger.  $f = 15$  cm, Öffnungsverhältnis 1 : 6,3. Die Ablesung des Vertikalkreises (mittels Nonien), die Ablesung des Horizontalkreises ebenso, bei einem sp. Modell erfolgt die Ablesung mittels Schraubenmikroskopen.

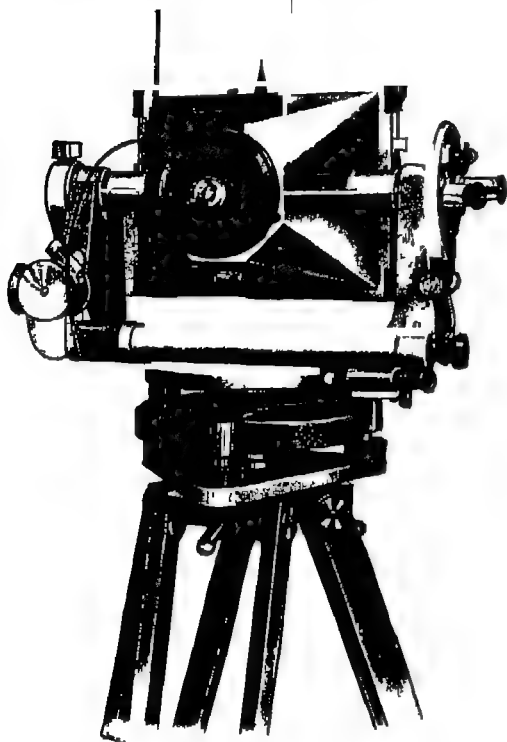


Abb. 162 Phototheodolit nach R. HUGERSHOFF

b) Phototheodolit BRÜTHAUPT & SOHN in sol.<sup>3</sup> Das Instrument gehört dem von KOPPE eingef. Typus, es besteht also aus Kammer und einem von leicht trennbaren Theodolit exzentrischem Fernrohr. Zu Zielung eines niedrigen Aufw. wird hier die Kammer oberhalb Fernrohrkippachse angebracht mit ihr durch eine einfache Kl. v. r. v. r. verbunden (Abb. 161). Das Objektiv (wie bei dem K. schen Instrument) ein Collinea VOIGTLÄNDER & SOHN A.-G. der Brennweite 15 cm und relativen Öffnung von 1 : 5,4) hier, ähnlich wie bei den a. Phototheodoliten von V. PO. und A. SCH.ELL,<sup>4</sup> um je 20 mm oben und unten vertikal versch. werden. Das Plattenformat 9 · 12 cm, das Gewicht der g. ten Ausrüstung einschließlich T. portkoffer und Stativ beträgt 24 kg.

c) Phototheodolit nach HUGERSHOFF<sup>5</sup> Den beschrieb. Phototheodoliten fehlt eine E. lung zur Herstellung exakter

malstereogramme. Eine solche ist erstmalig angewandt worden an dem v. H. yde in Dresden gebauten Phototheodolit, sie besteht (Abb. 162) aus einer am Unterbau angebrachten, parallel zur Kippachse der Kammer gelagerten fernrohr. Vor dem Fernrohrobjektiv ist ein um eine wagrechte Achse mit Spiegelprisma angeordnet, das die Einstellung des anderen Basisendpunkts beliebigem Höhenunterschied der Standpunkte gestattet.<sup>6</sup> Die Zielebene

<sup>1</sup> C. KOPPE, Photogrammetrie u. internationale Wolkenmessung, Braunschweig 1896.

<sup>2</sup> Vgl. hierzu S. 3 und S. 44.

<sup>3</sup> E. DOLEŽAL, Int. Arch. f. Photogramm. 3, 1912, S. 62.

<sup>4</sup> E. DOLEŽAL, Die Anwendung d. Photographie usw., Halle a. S. 1896.

<sup>5</sup> E. DOLEŽAL, Int. Arch. f. Photogramm. 6, 1919/1923, S. 280.

<sup>6</sup> Auf dem zweiten Standpunkt ist die Kammer durchzuschlagen, die auf Meßbild sichtbare Standpunktbezeichnung stellt sich dabei automatisch ein.

nrohres steht winkelrecht zur Kippebene der optischen Achse der Kammer, so ist auf jeden beliebigen Neigungswinkel von  $-40^\circ$  bis  $+90^\circ$  einstellbar, an einem mit der Kippachse verbundenen Höhenkreis mittels eines auf  $30''$  abgelesenen Winkels, für exakt horizontale bzw. vertikale Aufnahmen sind besonders empfindliche Labellen vorgesehen. Der große Aufnahmebereich der Vertikalebene macht den Phototheodolit nicht nur für Photographie und für Architekturaufnahmen, sondern auch für geophysische Ortsbestimmungen,<sup>1</sup> für listische und endlich für meteorologische Zwecke (Wolkenaufnahmen) nützlich. Für die letzterwähnten Aufgaben sind in der Regel die dieser Phototheodolite in symmetrischer Bauart und mit synchroelektrischer Verschlussauslösung benutzten

Ein auf den Bildrahmen mittels einer aufsetzbaren Okularbohrung (Abb 163) mit Zielmarke ergibt in Verbindung mit dem Kammerobjektiv ein Fernrohr (vgl. S 129), dem die Vertikal- und Horizontalwinkel (letztere mittels Skalimikroskopes auf  $6''$ ) nach beliebigen Geländepunkten gemessen werden können. Die Feinstellschraube

die Horizontalbewegung kann auf Wunsch als Meßschraube (Abb 164) ausgebaut werden, die in Verbindung mit einer legbaren wagrechten Distanzlatte (Abb 165) zur Basismessung dient (vgl. S 132). Die volle Umdrehung der Schraube entspricht einem Winkel, dessen Tangente 200 ist. Die für das Plattenformat  $18 \text{ cm}$  eingerichtete und im allgemeinen mit einem Tessar ( $f = 18 \text{ cm}$ , Lichtstärke 6,3) und mit Zentralverschluß versehene Kammer wiegt komplett zirka  $12,5 \text{ kg}$ . Die komplette Ausrüstung, einschließlich zwei Stativen, Zielscheibe, Basismesslatte, sechs Doppelkassetten mit zwölf Platten und Transportkoffer hat ein Gewicht von zirka  $39,5 \text{ kg}$ .

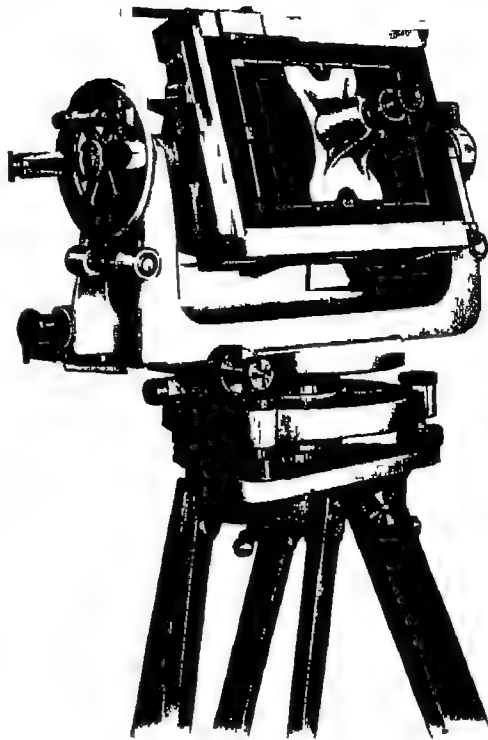


Abb 163 Phototheodolit nach R. HUGENHOF mit aufgesetzter Zielscheinrichtung, Rückansicht

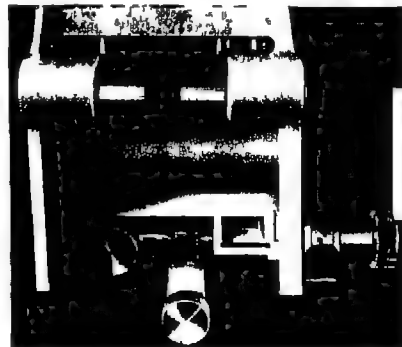


Abb 164 Horizontal wirkende Feinstellschraube als Meßschraube

<sup>1</sup> Über Einzelheiten der diesbezüglichen auf S 34 und S 35 dargestellten konstruktionsverfahren, vgl. auch H. SARNETZKY, Grundzüge der Luft und Erdmessung, Berlin 1928, S 192 ff.



d) Phototheodolit nach H. WILD in Heerbrugg<sup>1</sup> Auch bei diesem Gerät läßt sich, dem KOPPELschen Vorschlag entsprechend, die Kammer v.



Abb 165 Basisplatte zum Phototheodolit nach R. HUGERSHOFF

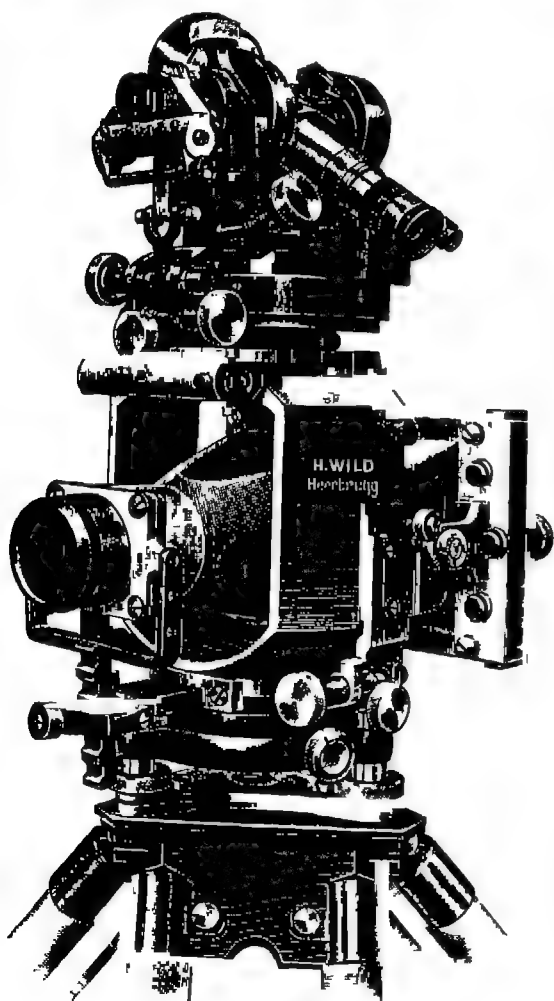


Abb 166 Phototheodolit nach H. WILD

entsprechenden Kammergehäuse mit einer Brennweite von 24,0 cm geliefert. Der komplette Phototheodolit wiegt (ohne Stativ) zu ca. 12 kg, die gesamt

eigentlichen Theodolit-Kammer, die Kippachse des letzteren ist aber nicht identisch mit der der Kammer, der dem Kammertrage (Abb 166) aufgesetzt. Theodolit ist, ähnlich bei dem Photogram-

meter nach HUGERSHOFF unabhängig von der Kammer und kann infolgedessen zur Herstellung exakter Normalsterogramme benutzt werden. Hier ist allerdings eine genaue Justierung des Theodolits vorauszusetzen, da dessen Fernrohr nicht umlegbar ist und wechelmechanische (vgl. die Photogrammeter nach HUGERSHOFF und DOLEŽAL) noch optische Anschlüsse (vgl. das Photogrammeter von C. ZEISS) vorgesehen sind. Der Kippbereich der Kammer ist wesentlich geringer als an anderen Phototheodoliten, es sind feste, genau angebbare Kippungsbeträge möglich ( $+1^\circ$ ,  $+6^\circ$ ,  $\pm 0^\circ$ ,  $-6^\circ$ ,  $-18^\circ$ ), die durch Rasten einem beweglichen Halter vorgeschrieben sind.

Das Instrument ist im Gegensatz zu anderen Konstruktionen, die von den modernen Leichtmetall-Isolierungen Gebrauch machen, aus Stahl gefertigt. Es ist für das Plattenformat 10/15 cm eingerichtet und benutzt ein von H. WILD selbst errechnetes Objekt über das in der wissenschaftlichen Literatur noch nichts bekannt wurde. Seine normale Brennweite ist 15,5 cm, wird aber auch in einem

<sup>1</sup> Bildmess u. Luftbildwes. 1, 1926, S. 35

srüstung (einschließlich zwei Stativen, Zielvorrichtung, Distanzlatte und 31 gefüllten Einzelkassetten) etwa 51 kg

Bei den bisher beschriebenen Aufnahmegeräten wurde eine (gewisse) Konstanz der Bildweite durch Andrücken des Emulsionstragers an einen mit dem Objektiv starr verbundenen Bildrahmen erzielt. Ein anderes Verfahren benutzt HOFMANN bei dem von ihm angegebenen Phototheodoliten (Int Arch f Photogramm 5, 1917, S 228). Hier wird die federnd in der Kassette liegende Platte durch drei in der Kammer angebrachte, von außen bediente Exzenter, die in die Kassette zurückgedrückt und auf diese Weise in einen bestimmten Abstand vom hinteren Hauptpunkt des Kammerobjektivs gebracht. Die Kammer besitzt im übrigen ein vertikal verschiebbares Objektiv und ein festes, für die Herstellung von Normalstereogrammen bestimmtes Zielfernrohr. Für die Ausrichtung beliebiger Richtungsmessungen ist die Kammer aus ihren Kippachsen zu entfernen und durch ein zentrisches Fernrohr mit Höhenkreis zu ersetzen. Das Bildformat ist 9/12 cm, die Brennweite des Objektivs (Lancoplast 12,5 von STAMBLE in München) beträgt 13 cm. Das komplette Instrument wiegt ohne Stativ in Verpackung 19,3 kg.

e) Phototheodolit für ballistische Aufgaben nach H. RUMPF in Bonn. Von den für ballistische Photogrammetrie angegebenen speziellen Aufnahmegeräten sei hier der Phototheodolit nach H. RUMPF erwähnt. Das in Abb. 167 schematisch dargestellte Gerät dient

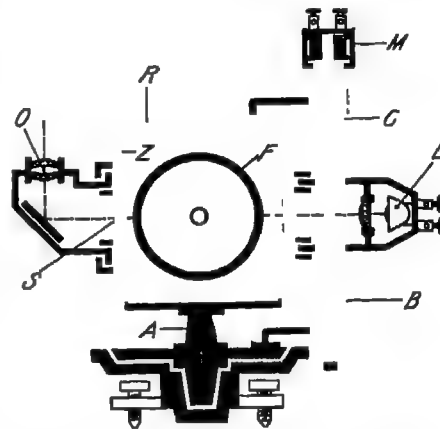


Abb. 167 Konstruktionschema des ballistischen Phototheodoliten nach H. RUMPF

allein der Untersuchung der Geschosbahn in der Nähe der Rohrmündung. Die Aufnahmen erfolgen mittels

des Objektivs *O* durch einen Spalt *S* in der Deckelfläche eines zylindrischen Gehäuses *Z*, dessen Achse wagrecht liegt.

Das Gehäuse selbst liegt in einem ringförmigen Rahmen *R* und kann so

verdreht werden, daß der Spalt der Geschosbahn bzw. der Rohrachse parallel ist.

Die Aufnahmen werden auf einem Filmstreifen gemacht, der auf der Trommel liegt, die um eine im Gehäuse *Z* fest gelagerte, von einem besonderen Motor getriebene Achse gedreht wird. Der erwähnte ringförmige Rahmen *R* ist ein Bestandteil der Stehachse *A* des Instruments, die in der Büchse eines Dreifußgerätes ruht. Mit der Stehachse ist fest verbunden ein vertikales Rohr *B*, in dem ein fallender Stab *C* aufnimmt, der vor Beginn der Aufnahme durch den Elektromagneten *M* festgehalten wird. Der Stab zeigt Durchbrechungen, die die Intervallen und Größen aufeinander folgen, die den Fallzeiten entsprechen. Diese Unterbrechungen werden durch eine Lichtquelle *L* unter Vermittlung konvergierender Linsen beim Vorübergleiten des fallenden Stabes auf die dem Spalt gegenüber liegende Stelle des Filmes abgebildet, so daß die Zeitdifferenzen zwischen den einzelnen Spaltaufnahmen sehr genau feststellbar sind.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vgl. auch die auf S. 105 erwähnten Konstruktionen der ASKANIA-WERKE A.-G. in Wien von P. RAETHLEN.

<sup>2</sup> H. RUMPF, Die wissenschaftl. Phot. als experim. Grundlage des Geschützwesens, Bonn 1920. DERSELBE, Theorie d. photogram. Geschwindigkeitsmessung im 1923. Weiterer Literatur s. S. 8.

**36 Stereometrische Doppelkammern.** Zur Festlegung der Formen und Ausmaße komplizierter und insbesondere auch beweglicher Objekte auf kurzen Entfernungen können außer den auf S 32 erwähnten Spiegelapparaten auch Aufnahmen mit zwei achsenparalleler Kammer von den Enden einer festen Basis aus benutzt werden.

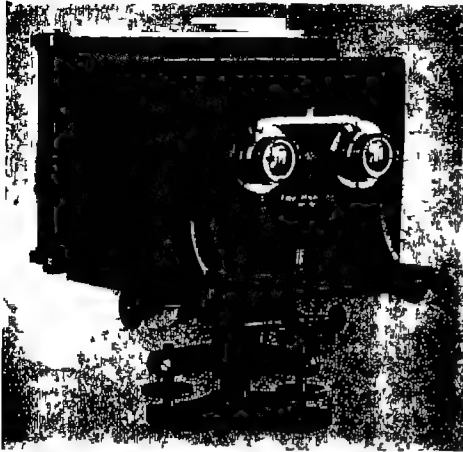


Abb 188 Stereometerkammer nach J. PANTOFLIČEK der Fa. G. HEYDE in Dresden

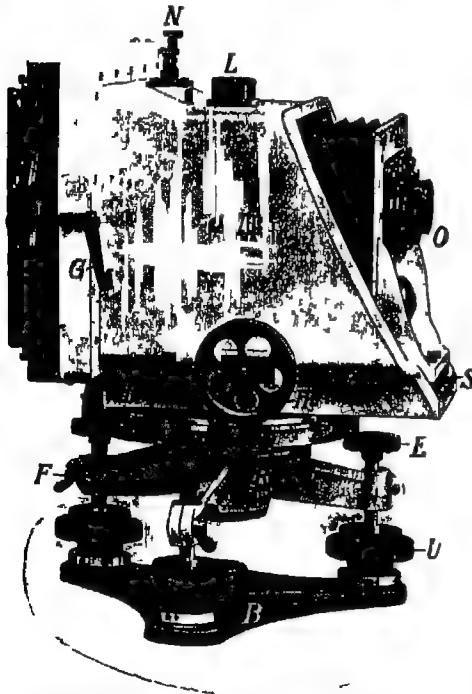


Abb 169 Stereometerkammer der Fa. CARL ZEISS in Jena

a) **Stereometerkammer J. PANTOFLIČEK.** Bei dieser von G. HEYDE in Dresden gebaute Doppelkammer (Abb 188) werden die beiden Aufnahmen auf eine Platte vom Format 18 x 21 cm gemacht. Der Abstand der gleich Objektivs (Anastigmaten mit  $f = 15$  cm) beträgt 100 mm. Die Verschlüsse werden gemeinsam gespannt und ausgelöst. Zur Aufnahme an ganz nahen Objekten kann die Basisweite von 15 cm bis auf 19 cm durch Verschiebung des Objektivrings gegen den mit ihm durch einen Bolzen verbundenen Anlegetrahnen vergrößert werden. Die Bildweitenänderung erfolgt durch einen im links sichtbaren Triebknopf, der gleichzeitig einen unmittelbar vor der Bildebene befindlichen Zeiger verschiebt. Die Stellung des Zeigerbildes gegen eine benachbarte feste Bildmarke entspricht genau der Differenz der jeweiligen Bildweite gegen die Basisweite der Objektive. Über die Verwendbarkeit derartiger Doppelkammern z. B. für anthropologische, biologische und medizinische Zwecke haben C. PULFRICH<sup>1</sup> und H. MATIEGKA und J. PANTOFLIČEK<sup>2</sup> ausführlich berichtet.

b) **Stereometerkammer von CARL ZEISS in Jena.**<sup>3</sup> Das in Abb 169 wiedergegebene, für die gleichen Aufgaben bestimmte, ausgezeichnete Instrument ist für das gebräuchliche Plattenformat 13 x 18 cm eingerichtet. Die Basisweite der Objektive (Tessar) beträgt ebenfalls 15 cm. Die Basis ist h

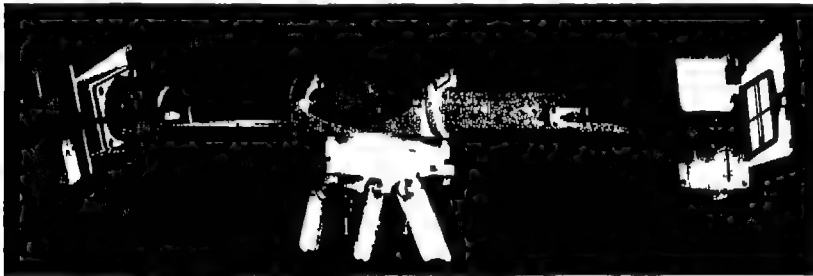
<sup>1</sup> C. PULFRICH, Arch. f. Opt., 1907, S. 42

<sup>2</sup> H. MATIEGKA und J. PANTOFLIČEK, Int. Arch. f. Photogramm., 1913, S. 1

<sup>3</sup> C. PULFRICH, Arch. f. Opt., 1907, S. 42

mm Zur unmittelbaren Ausmessung der im Interesse einer Genauigkeits-  
gerung unzerschnittenen Originalaufnahmen ist für diese Doppelkammer  
ih Angaben von C PULFRIE ein besonderer Stereokomparator (das Stereo-  
ter) gebaut worden, bei dem die Abstandsmessungen (vgl S 55) durch  
krometrische Verschiebung der Mikroskopobjektive geschieht

o) Stereometerkammer nach R HUGERSHOFF Die Doppelkammer  
bb 170) ist für Modellaufnahmen von Objekten in mittleren Entfernungen,  
besondere zu kriminalpolizeilichen Tatbestandsaufnahmen, Formunter-  
hungen an stehenden Bäumen, fluß- und schiffbautechnischen Studien usw  
stimmt Die starre<sup>1</sup> Basis ist dementsprechend wesentlich größer (100 cm),  
bei den eben beschriebenen Instrumenten, sie gestattet aber immerhin noch  
en bequemen Transport des Gerätes<sup>2</sup> Die Kammergehäuse zeigen die gleiche  
sführung wie das Gehäuse des auf S 127 beschriebenen Photogrammeters  
rschiebbare Objektive (um allgemeinen Tessare 1, 4,5,  $f = 13,5$  cm) mit  
estattiger photographischer Festlegung der Objektivstellung, Format  $9 \times 12$  cm  
l Anlegekassetten Die gemeinsame Spannung der beiden Zentralverschlüsse



170 Stereometerkammer nach R HUGERSHOFF (AEROTOPOGRAF G m b H in Dresden)

chicht mechanisch, ihre gleichzeitige Auslösung kann sowohl auf mechanischem  
auch auf elektrischem Wege vorgenommen werden Das Basisrohr wird  
allgemeinen mittels eines Dreifußunterbaues auf einem Stativ befestigt,  
Basis kann um eine vertikale Achse beliebig und meßbar verschwenkt und  
Hilfe einer Bussole orientiert werden Es lassen sich sowohl wagrechte als  
ih geneigte Aufnahmen vornehmen, letztere durch Drehung des Basisrohres  
seine mechanische Achse Die Grenzen der Kippung sind  $+45^\circ$  und  $-30^\circ$ ,  
die Einstellung der Kippungswinkel sind von  $5^\circ$  zu  $5^\circ$  besondere Rasten vor-  
ehen

Das Gerät wiegt einschließlich Transportkoffer und Stativ 21 kg

### C. Meßkammern für bewegliche Aufstellung

37 Einfache Kammer mit Handbetätigung a) Meßkammer nach  
HUGERSHOFF<sup>3</sup> Die Kammer (Abb 171) ist für das Bildformat  $13 \times 18$  cm  
gerichtet, sie wird sowohl für eine Bildweite von 18 cm als auch für eine

<sup>1</sup> Eine Doppelkammer mit veränderlicher Basis (50,  $37\frac{1}{2}$  und 25 cm) und ver-  
änderlicher Bildweite wurde nach Angaben von W STRICK von CARL ZEISS gebaut

O LACMANN, Zentralbl d Bauverwalt, 1910, Nr 63ff

<sup>2</sup> Für Wellenaufnahmen auf größere Entfernungen wurde nach Angaben von  
SCHUMACHER von CARL ZEISS im Jahr eine Spezialkammer mit 6 m langer Basis  
mit Vgl Annal d Hydrogr 54, 1926 und H WEIDINGER Mitt a d Arbeitgeb  
PHOTOGRAMMETRIE G m b H, München, 1927 Nr 7, 8

<sup>3</sup> F DOLLZAI, Int Arch f Photogramm 6 1919/23, S 283

solche von 21 cm gebaut. Als Objektiv wird im allgemeinen ein Tessar 1:4, benutzt. Der Compurverschluß mit der maximalen Geschwindigkeit  $\frac{1}{200}$  Sekund wird durch einen von der rechten Hand betätigten Hebel gespannt (S 114).

die Auslösung erfolgt nach dem Loslassen des Hebels, wodurch das sonst leicht mögliche „Verwackeln“ der Aufnahme verhindert wird. Der Hebel geht nur dann zurück, wenn der Verschluß

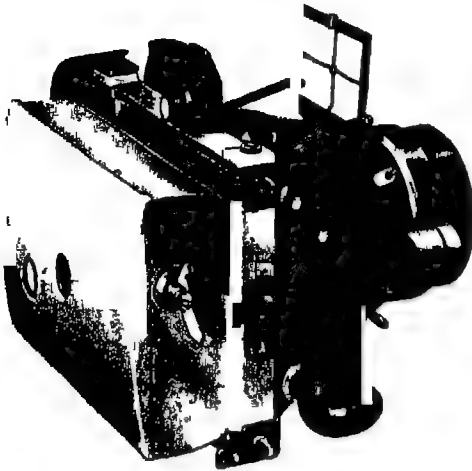


Abb 171 Standardkamera nach R. HUGERSHOFF mit Filmwechselskassette (AEROTOPOGRAPH G. m. b. H. in Dresden)



Abb 172 Freihändiger Gebrauch der in Abb 171 dargestellten Kamera

wirklich gespannt wurde. Eine weitere Sicherungseinrichtung gegen Fehlbelichtungen (S 114) sperrt die Verschlußspannung, wenn das Anpressen der Kassette gegen den Bildrahmen vergessen wurde. Auf dem Kamerakörper befindet sich ein aufklappbarer Rahmen sucher und neben demselben eine auf verschiedene Neigungswinkel einstellbare und in einem Spiegel zu beobachtende Dosenlibelle, die gestattet, der Aufnahme bei möglichst geringer Verkantung eine annähernd vorgeschriebene Neigung zu geben.

Die Kamera kann sowohl mit Glasplatten als mit Film benutzt werden. Sie ist zu dem Zwecke einer in der Bildbahn fest angebrachten planparallelen Glasplatte (S 125) versehen, auf der nicht nur die vier Bildmarken, sondern auch der

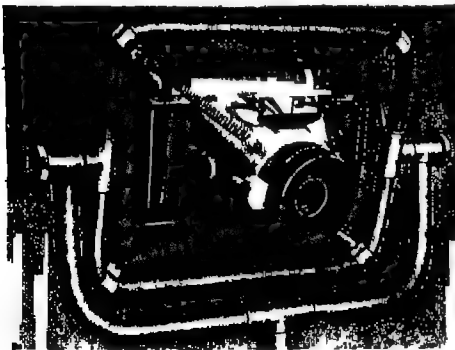


Abb 173 Aufhängevorrichtung für Schrägaufnahmen zu der in Abb 171 dargestellten Meßkamera

Rahmenhauptpunkt (kleine Kreise mit Punkt) eingetragte sind. Die vier Bildmarken haben die auf S 104 als zweckmäßig angegebene Lage. Beim Gebrauch von Glasplatten als Emulsionsträger wird eine Wechselskassette (S 120) für sechs Platten benutzt, bei der nicht nur das Gehäuse, sondern auch die Verschlußschieber aus Metall hergestellt sind. Die Filmkassette, deren Konstruktion auf S 122 bzw. S 125 beschrieben wurde, ist für 50 Aufnahmen eingerichtet. Sie gewährleistet einen völlig zwangsläufigen Filmtransport und einen absolut

anliegen des Filmes auf mechanischem Wege. Für den freihändigen Gebrauch (Abb. 172) dienen die seitlichen Handgriffe, zur Herstellung einer größeren Anzahl sich fortlaufend überdeckender Aufnahmen ist

die Benutzung besondere

Aufhängevorrichtungen

(Abb. 173 und 174) vor-

handhaft. Sie bestehen im

Wesentlichen aus zwei Rah-

men, die um zwei winkeln-

recht zueinander stehende

Achsen gedreht werden können

(Cardan-Aufhängung)

an Aufhängegestellen für

vorwiegend Senkrechtauf-

nahmen (Abb. 174) muß

ferner noch eine Dre-

hung der Kammer um ihre

horizontale Achse zur Kom-

passierung der Abtunft des

Belichtungszeuges durch seitlichen

Handgriff möglich sein. Zur

Verstellung der Abtunft

ist ein an die Hand-

kammer ansteckbarer klei-

ner Mattscheibensucher, der gleichzeitig die Zeitpunkte angibt, zu denen bei Senkrechtaufnahmen die Belichtung vorzunehmen ist, um eine vorgeschriebene Überdeckung der Bilder zu erzielen (vgl. Überdeckungsregler, S. 237). Durch Federzüge bzw. Gummi-

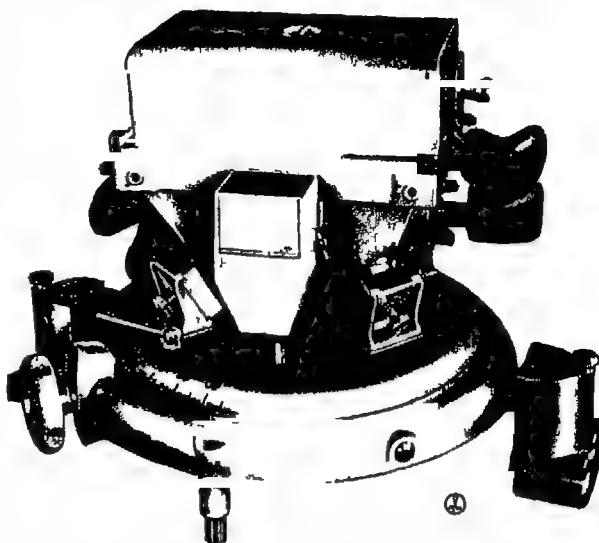


Abb. 171 Handmeßkammer nach R. HUGENSOFF in Aufhängevorrichtung für Senkrechtaufnahmen mit Überdeckungsregler

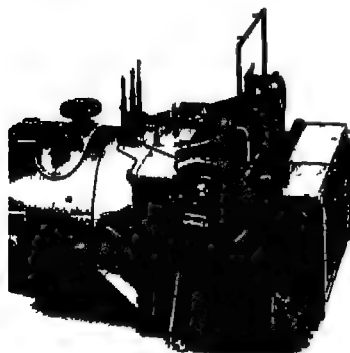


Abb. 175 Handmeßkammer C/4 Modell 1920, der Carl Zeiss, Jena

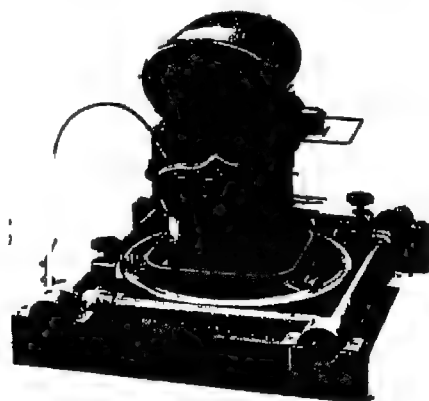


Abb. 176 Handmeßkammer C/4 der Carl Zeiss, Jena, in Senkrechtaufhängevorrichtung

ster innerhalb des Gestells und gegebenenfalls auch durch elastische Befestigung des ganzen Gestells am Flugzeugkörper<sup>1</sup> ist dafür gesorgt, daß sich dessen Vibrationen nicht auf die Kammer übertragen

<sup>1</sup> Hierzu sind z. B. Fahrradluftschlanche zweckmäßig zu verwenden, vgl. O. LACON, Bildmessung und Luftbildwesen 3, 1928, S. 101

Die von G HEYDE in Dresden gebaute Meßkammer wiegt ohne Kasse 6,7 kg, das Gewicht einer Plattenkassette beträgt 2,4 kg, das einer Filmkassette 2,9 kg

b) Meßkammer von CARL ZEISS in Jena<sup>1</sup> Das Bildformat des Abb 175 dargestellten Aufnahmegerates ist ebenfalls 13 18 cm Das w

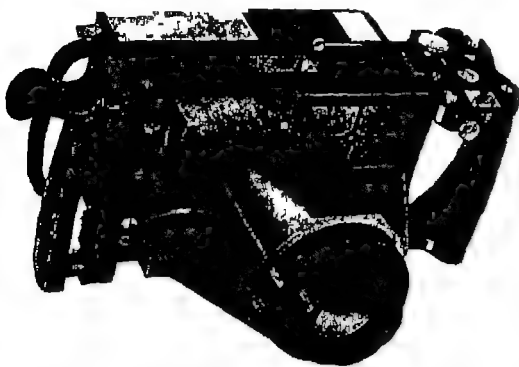


Abb 177 Handmeßkammer von H WILD

zur Einstellung der Kammerachse bei Senkrecht- und Steilaufnahmen Schrägaufnahmen läßt sich die Einhaltung einer vorgeschriebenen Neigung an einer seitlich angebrachten gebogenen Röhrenlibelle erkennen Die Bildmarken werden auf optischem Wege hergestellt (S 104) und kommen den Ecken des Bildfeldes zur Einstellung

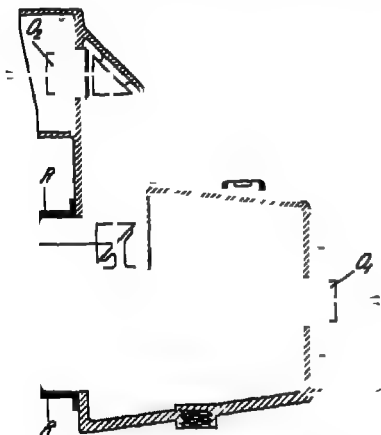


Abb 178 Küstenkammer nach R HUGERSHOFF  
Konstruktionsschema

zum Tessartyp gehörige Objekt wird als „Meß-Flieger-Objekt“ bezeichnet, es hat eine Brennweite von 21 cm und ein Öffnungsverhältnis von 1 : 4,5 Der Zentrverschluss, dessen kürzeste Laufdauer  $\frac{1}{175}$  Sekunde beträgt zeigt einen günstigen Wirkungsgrad (S 113) Über die Betätigung des Verschlusses und etwa Sicherungseinrichtungen ist bis nichts veröffentlicht worden dem Kammerkörper ist ein klappbarer Bildsucherrahmen gebracht, eine Dosenlibelle die

Auch bei dieser Kammer können sowohl Glasplatten als auch Filmstreifen Verwendung finden Für erstere werden Wechselkassetten für sechs Platten genutzt In der Filmwechsellkassette schiebt die Planlegung des Filmes praktisch und zwar durch Ansaugen des Films gegen eine Planscheibe (S 11) der Transport des für 120 Einzelaufnahmen ausreichenden Filmbandes geschieht durch Fraktion (S 122) Abb 176 zeigt die Handkammer in Verbindung mit Filmkassette in einer für Senkrechtaufnahmen bestimmten Aufhänge- richtung

Über das Gewicht der Kammer und Zubehörwaren Angaben nicht zu erlangen

c) Meßkammer nach H WILD in Heerbrugg<sup>2</sup> Die nur für die Nutzung von Glasplatten (im Format 10 15 cm) eingerichtete Kammer (Abb 177) ist mit einem „WILD“-Objektiv (s S 140) 1 : 5 von 10,5 cm Brennweite ausgerüstet Die Wechselkassetten sind entsprechend dem kleinen Format für Aufnahme von zehn Platten eingerichtet

Der gesamte Aufbau der Kammer zeigt soviel Ähnlichkeit mit der He

<sup>1</sup> E DOLEŽAL, Int Arch f Photogramm 6, 1919/23, S 249

<sup>2</sup> K SCHNEIDER, Bildmess u Luftbildwes 4, 1920, S 1

kammer nach HUGERSHOFF, daß sich eine eingehende Beschreibung hier  
rügt

d) Kustenkammer nach R HUGERSHOFF<sup>1</sup> Diese von G HEYDE in  
den gebaute Kammer stellt einen Übergang zu den im folgenden Abschnitt

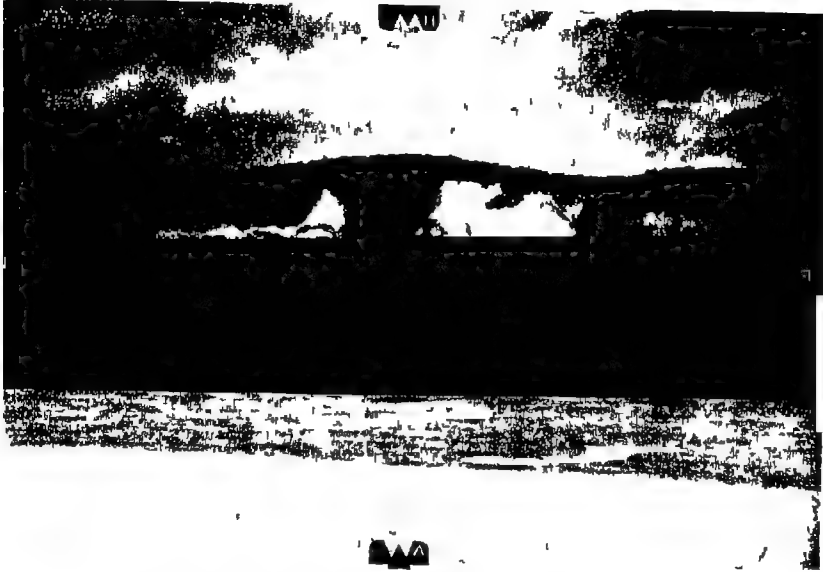


Abb 179 Teilbild einer Meßaufnahme der Küste von Rügen

riebenen Mehrfachkammern dar Sie ist eine Doppelkammer, deren beide  
ktive  $O_1$  und  $O_2$  (Abb 178) — Tessare 1 4,5,  $f = 18$  cm — parallel und  
engesetzt gerichtet sind Die Objektive haben eine gemeinsame Bildebene,  
Aufnahmen erfolgen dementsprechend auf einer am Bildrahmen  $R$  an

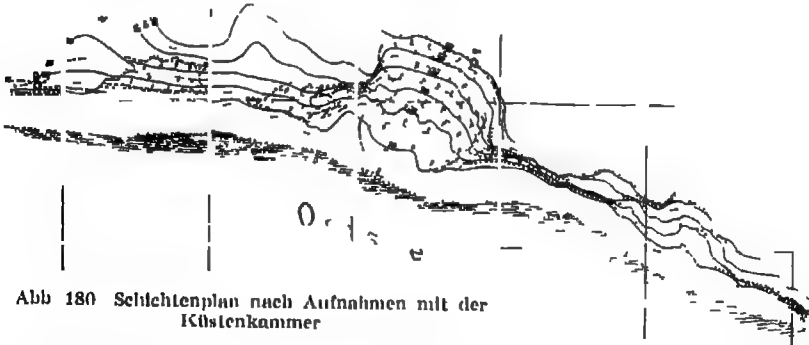


Abb 180 Schichtenplan nach Aufnahmen mit der  
Kustenkammer

den Platte, deren Format 13 18 cm ist Die Kammer dient der Aufnahme  
Steilkusten vom Schiffe aus, wobei das Objektiv  $O_1$  den Küstenabschnitt,  
Objektiv  $O_2$  aber die der Kuste gegenüberliegende Kumm abbildet Die  
und Neigung des Kimmbildes in bezug auf die entsprechenden Bildmarken  
179) ergibt mit Berücksichtigung der Erdkrümmung und Refraktion un-

D R P Nr 395085, vgl G MÜLLER, ZS f Feinmech 31, 1923, S 47



mittelbar und exakt Neigung und Verkantung der Aufnahme, bestimm Orientierung des durch das Objektiv  $O_1$  festgelegten Bildstrahlenbuschels, dem Horizont. Die Ausarbeitung (Abb 180) von derart gewonnenen A paaren kann in irgendeinem der beschriebenen Universal Auswertegerät bei deren Benutzung sich auch die Aufnahmestandpunkte bzw die A richtungen mechanisch ergeben, wenn sich auf dem doppelt dargestellte abschnitt (mindestens) drei ihrer Lage und Höhe nach bekannte F befinden, unter Umständen ist aber eine kartographische Darstellu

nachst unbekanntem Maß ohne solche Festpunkte durch mechanische gegenseitige Anpaarung Teilbilder eines Paares möglich

Die Kammer ist mit einer Aufhängevorrichtung (z. B. zu benutzen Ein Mattscheibe sucher mit Dosenlibelle) versehen, um eine ungefähre Einhaltung einer Aufnahmegerichtung bzw der richtigen Lage der Bildebene zu gewährleisten. Die Verschlüsse werden genau gespannt und durch BOWDEN-Seile gleichzeitig ausgelöst

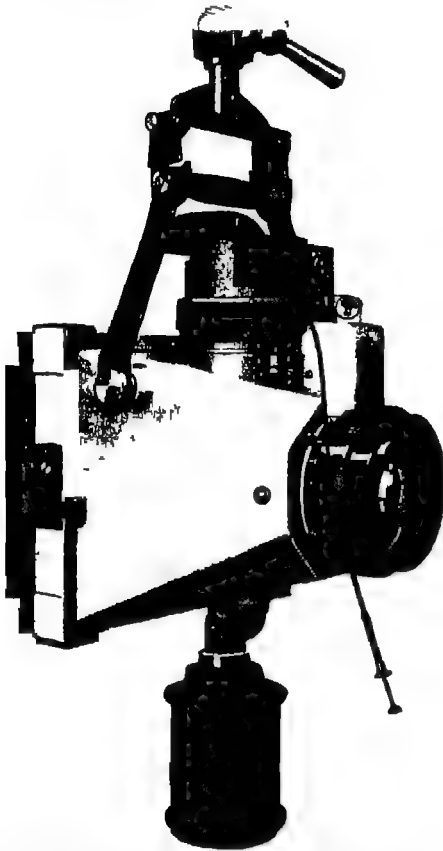


Abb 181 Küstenskammer nach R. HUGENSHOFF (AEROTOPOGRAPH G. m. b. H. in Dresden)

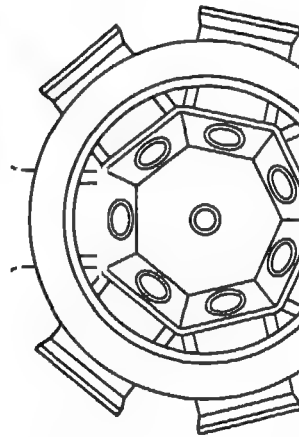


Abb 182 Schema eines Scheinwerfer-Mechanismus nach F. SCHUMPFER

**38 Mehrfachkammern mit Handbetätigung** Die weitestgehende Übersicht von einem Luftstandpunkt aus geboten wird, hat schon früh das Bestreben gerufen, mit einer einzigen Aufnahme eine möglichst große Fläche zu erzielen. Derartige Bestrebungen waren früher besonders insofern als damals nur Drachen oder Freiballone für Luftaufnahmen zur Verfügung standen, mit denen ein großes zusammenhängendes Gebiet praktisch erst bei Verwendung weitwinkliger Kammer aufzunehmen war. Dies wurde erst bei Verwendung von TRIBOULET und TISSANDIER um 1885 in Frankreich

<sup>1</sup> N. TISSANDIER, La photographie en ballon, Paris 1886

Es war vor allem R. THIELE<sup>1</sup> (seit 1896) in Rußland und wohl gleichzeitig unabhängig von ihm TH. SCHEIMPFLUG<sup>2</sup> in Österreich, die um eine senkrecht unten photographierende Kammer eine Anzahl (sechs bis acht) weiterer Kammern in Kranzform und in starrer Verbindung so gruppierten, daß deren optische Achsen zur Achse der Mittelkammer geneigt waren. Die Achsen der Randkammern sind bei der Konstruktion von SCHEIMPFLUG, deren erstes Modell in Abb. 182 schematisch dargestellt ist, nach innen gerichtet, infolgedessen ist die Bauart gedrängter und damit zweckmäßiger als die der THIELESchen Panoramakammer, bei der die Achsen der Randkammern nach außen gerichtet waren. SCHEIMPFLUG war der erste, der ein auch heute noch verwendetes Verfahren der optischen kartographischen Verwertung solcher Panoramenaufnahmen anwandte.

Er konstruierte zunächst theoretisch einwandfreie Umbildegeräte (S. 20), unter auch eine starre, speziell für seine Panoramakammer bestimmte, von der Firma ERNEST & SOHN wieder in den Handel gebrachte Umbildekammer,<sup>4</sup>

die die Aufnahme der äußeren Kammern auf die Ebene des ungefähr senkrecht aufgenommenen Mittelbildes zu transformieren. Er erhielt auf diese Weise Bilder, die jeweils eine Weitwinkelaufnahme von 150° Bildfeldwinkel enthalten. Zur gegenseitigen Orientierung dieser Weitwinkelaufnahmen und zur punktierten Rekonstruktion der Zentralprojektion des aufgenommenen Geländes erfand

SCHEIMPFLUG die Nadir-kekttriangulation (S. 38 insbes. S. 195). Deren Ergebnisse dienten — wiederum mit Benutzung des Stereoidgerätes bei Verwendung eines optisch-mechanischen Einpaßverfahrens („sicherer Koinzidenz“) — zur Herstellung exakt horizontaler Platten. Die Rekonstruktion eines Schichtenplanes aus ihnen kann grundsätzlich, worauf falls schon SCHEIMPFLUG hinwies, im Stereoaustogrammen erfolgen. Sie kann auch nach dem Verfahren der Doppelprojektion (S. 78) und insbesondere der Projektions-simplex (S. 83) vorgenommen werden, wobei die Weitwinkelaufnahmen entsprechend zu verkleinern und durch Bildweitenverschiedenheiten bedingten Bilddeformationen (ZS f. I. 23, 1903, S. 133) bei der Höhenmessung zu berücksichtigen sind. Das gesamte Verfahren, für das die Trennung der Grundmittlung von der Höhenbestimmung charakteristisch ist, wurde neuerdings von R. THIELE in Vorschlag gebracht.

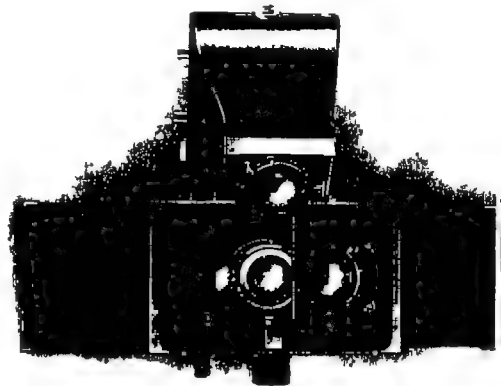


Abb. 183 Vierfachkammer nach J. W. BAGERY

insbes. S. 195). Deren Ergebnisse dienten — wiederum mit Benutzung des Stereoidgerätes bei Verwendung eines optisch-mechanischen Einpaßverfahrens („sicherer Koinzidenz“) — zur Herstellung exakt horizontaler Platten. Die Rekonstruktion eines Schichtenplanes aus ihnen kann grundsätzlich, worauf falls schon SCHEIMPFLUG hinwies, im Stereoaustogrammen erfolgen. Sie kann auch nach dem Verfahren der Doppelprojektion (S. 78) und insbesondere der Projektions-simplex (S. 83) vorgenommen werden, wobei die Weitwinkelaufnahmen entsprechend zu verkleinern und durch Bildweitenverschiedenheiten bedingten Bilddeformationen (ZS f. I. 23, 1903, S. 133) bei der Höhenmessung zu berücksichtigen sind. Das gesamte Verfahren, für das die Trennung der Grundmittlung von der Höhenbestimmung charakteristisch ist, wurde neuerdings von R. THIELE in Vorschlag gebracht.

R. THIELE, Int. Arch. f. Photogram. 1, 1908, S. 35. Hier wird auch eine symmetrische Panoramakammer beschrieben, deren kleine Basis (2 m) aber nur geringen Flughöhen praktischen Wert hat.

TH. SCHEIMPFLUG, Phot. Korr. 30, 1903, S. 659.

Vgl. z. B. TH. SCHEIMPFLUG, Die Flugtechnik im Dienste des Vermessungs- und in H. HOERNER, Buch des Fluges, Wien 1911.

G. KAMMLER, Bull. d. Schweiz. Aero-Clubs 1913.

C. ASCHENBRENNER, Bildmess. u. Luftbildwes. 4, 1929, S. 30.

Die in der Bedienung solcher Mehrfachkammern liegenden technischen Schwierigkeiten sind später behoben worden. So konstruierte J. W. für den U. S. GEOLOGICAL SURVEY<sup>1</sup> eine Vierfachkammer (Abb. 18) für Aufnahmen auf nur zwei Filmbändern mit gemeinsamem Transport. Auch BAGLEY verwendet eine starre Umbildekammer.

Weiter hat H. CRANZ eine von G. HEYDE in Dresden unter Mitwirkung von R. HUGERSHOFF gebaute Vierfachkammer (Abb. 184) angegeben, unter Verwendung achsparallel angeordneter, gleichartiger Objektive Aufnahmen auf ein und dieselbe Glasplatte erfolgen. Die gegenseitige Neigung der vier Aufnahmerichtungen wird hier durch dreiseitige Spiegelprismen erzielt, die an drei der vier Objektive angebracht sind.<sup>2</sup>

Trotzdem heute infolge des Vorhandenseins lenkbarer Luftfahrzeuge automatische Einrichtungen zur Einhaltung paralleler Flugbahnen<sup>3</sup>

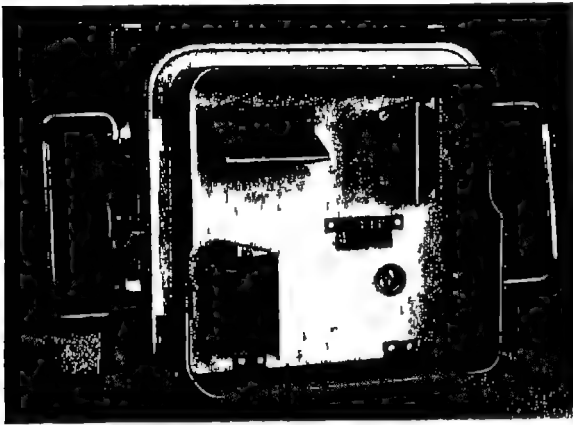


Abb. 184 Einplatten-Vierfachkammer nach H. CRANZ

eine Notwendigkeit der Verwendung von Weitwinkel- und insbesondere Panoramaaufnahmen für Zwecke<sup>4</sup> nicht mehr, kann die wirtschaftliche Bedeutung einer Erzielung der Zahl der Aufnahmen selbstverständlich nicht verkannt werden. Die Erzielung dieser Forderung sind aber bei der Aufnahmepanoramaaufnahme in völlig ebenen Gelände brauchbar, das zu einem großen Teil frei von Bauwerken und Baumbeständen ist. Andernfalls wird der Bildfeldwinkel von etwa 65° nicht nur der Einblick in Geländevertiefungen usw. stark eingeschränkt sein,<sup>5</sup> sondern es ist auch die Art der Entzerrungsverfahren zur Lageplanherstellung ausgeschlossen, und die stereoskopische Ausmessung (S. 98) wird schwierig oder unmöglich. Man hat deshalb die Verwendung von Panoramakammern mit Recht aufgegeben und benutzt an ihrer Stelle zur Aufnahme eines breiteren Bildfeldes Streifen- oder besser Dreifachkammern, deren Objektiva

<sup>1</sup> T. P. PENDLETON, Map compilation from aerial photographs. Topographic instructions, herausgegeben von C. H. BIRDSEY, Washington 1928.

<sup>2</sup> R. HUGERSHOFF und H. CRANZ, Grundlagen der Photogrammetrie, Stuttgart 1919.

<sup>3</sup> Die gleiche Einrichtung verwendet neuerdings CL. ASCHENBRENNER für eine 9-linsige Panoramakammer, die gegenüber der SCHEIMPFLUGsche dadurch ausgezeichnet ist, daß die äußeren Bilder lückenlos aneinander anschließen.

<sup>4</sup> R. HUGERSHOFF, Bildmessung u. Luftbildwesen 4, 1929, S. 24.

<sup>5</sup> Für bloße Übersichtsaufnahmen sind Panoramakammern natürlich zweckmäßig, doch dürften sich in Zukunft für solche Aufgaben Zylinderkameras (vgl. S. 136), die zuerst von BOYKOW für Luftbildaufnahmen vorgeschlagen (S. 154), als vorteilhafter erweisen.

<sup>6</sup> Der durch Sichtbeschränkung bedingten „toten Räume“ wegen für auch eigentliche Schrägaufnahmen ganz allgemein wohl nur noch in Ausnahmefällen (z. B. zur Aufnahme von Gebirgshängen in weiten Hochgebirgstälern) Verwendungsgegenstand.

rtikalen Ebene winkelrecht<sup>1</sup> zur Flugrichtung liegen Über derartige, zweckmäßig automatisch anzutreibende Kammeren s S 155

**39. Einfachreihenbildner.** Das zur Zeit rationellste Verfahren zur Aufnahme des größeren zusammenhängenden Gebietes besteht in der Verwendung von ungefähr vertikal gerichteten (Einzel-) Kammeren bei paralleler Anordnung der Flugbahnen. Derart gewonnene Aufnahmen (Normalreihen) ergeben denstmöglichen Einblick ins Gelände, lassen sich bequem und rasch orientieren, reckenweise sogar ohne Festpunkte auf der Erde (s S 193), ermöglichen eine rangfreie und kontinuierliche stereoskopische Auswertung, sind auch bei wegterem Gelände dem „Entzerrungsverfahren“ zugänglich und gestatten ie zuverlässige Vorausberechnung der Kosten der Kartenherstellung. Diesen orteilen gegenüber fällt der Nachteil enig ins Gewicht, der in der größeren hyl der erforderlichen Aufnahmen steht Voraussetzung zu deren einandfreien Ausführung ist allerdings e Benutzung einer automatischen ammer, eines Reihenbildners, bei m Verschlußspannung, Verschlußlosung und Transport des Emulnstragers zwangsläufig verbunden id von einem gemeinsamen Antrieb tätigt werden, dessen Geschwinigkeit entsprechend dem vorgehriebenen Prozentsatz der Überckung der aufeinanderfolgenden ufnahmen regulierbar ist. Die Beenung einer solchen Kammer beht im wesentlichen in der Btigung eines Geschwindigkeitsgls entsprechend den Angaben nes „Überdeckungsreglers“ (S 237), daß also automatisch gewonnene ormalreihen auch in aufnahmetechnischer Beziehung hinsichtlich ihrer Einchtheit an der Spitze stehen.

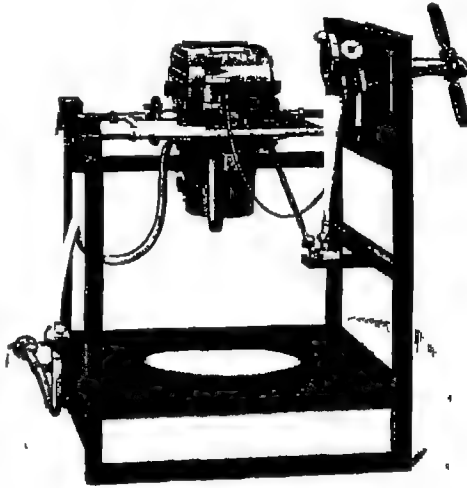


Abb 185 Einfachreihenbildner C/3 der Fa. C. Zeiss in Jena in Aufhängevorrichtung

Von den zahlreichen Konstruktionen von Reihenbildnern für Luftaufnahmen<sup>2</sup> kommen für Meßzwecke im allgemeinen selbstverständlich nur die wenigen Frage, bei denen ein Zentralverschluß (S 111) und exakte Bildmarken erwendung finden<sup>3</sup>.

a) Einfachreihenbildner von CARL ZEISS in Jena<sup>4</sup>. Die Kammer (Abb 185) ergibt Filmaufnahmen im Format 18 x 18 cm, sie ist wie die oben

schriebene Zeiss'sche Handmeßkammer, ausgerüstet mit einem Meßflieger-

schriebene Zeiss'sche Handmeßkammer, ausgerüstet mit einem Meßflieger-

<sup>1</sup> Doppelkammeren werden für ein besonderes Triangulationsverfahren bisweilen auch so in das Flugzeug eingebaut, daß die Ebene ihrer Objektiven in der Flugrichtung liegt. Vgl. Koppkreuzen S 198.

<sup>2</sup> In Deutschland wurden die ersten derartigen Reihenbildner von O. MESSIER in Berlin gebaut.

<sup>3</sup> Ohne solche Marken bzw. mit Schlitzverschluß ausgerüstet sind z. B. die Filmreihenbildner der FAIRCHILD AERIAL CO., New York, und die Film bzw. Plattenreihenbildner der WILLIAMSON MANUFACTURING CO. (VICKERS LTD.), London, der ATTICO MECCANICA ITALIANA (NISTRI), Rom, und der ETABLISSEMENTS AERFA, Paris.

<sup>4</sup> F. SCHNEIDER, Bildmessung u. Luftbildwesen 1, 1926, S. 29.

Objektiv 1 4,5 von 21 cm Brennweite und einem in vier Stufen regelt Zentralverschluß von sehr günstigem Wirkungsgrad. Dem Objektiv kann durch Drehen eines Knopfes wahlweise zwei verschieden dichte Gelbfilter geschaltet werden. Auch diese Kammer besitzt optisch erzeugte Bildmaße in der oben beschriebenen Anordnung. Die zweckmäßig gelagerte Aufhängevorrichtung entspricht im wesentlichen der Aufhängevorrichtung der Zeiss Handkammer. Zur exakten Kompensierung der Abtrift durch entsprechende Drehung der Kammer um ihre optische Achse ist seitlich und abnehmbar Bildsucher in Form eines Fernrohres mit großem objektivem Gesichtsfeld gebracht. Die Kammer ist so zu drehen, daß die Zugrichtung der im Fernrohr gesehenen Landschaft mit der Richtung eines im Bildfeld parallel zu einer

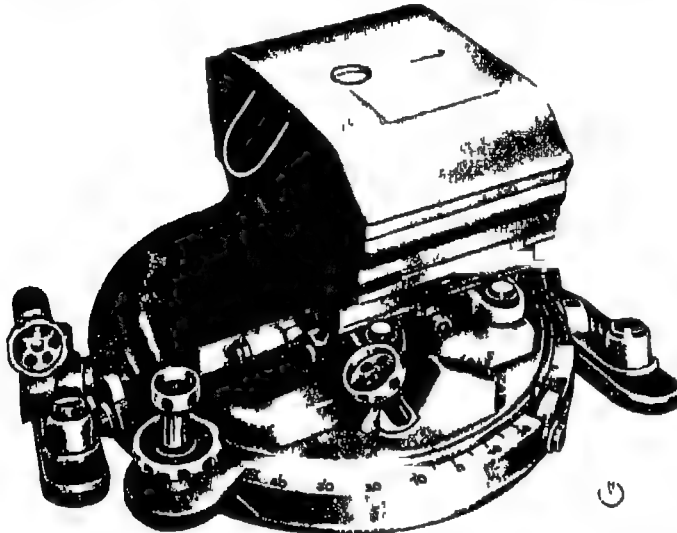


Abb. 186 Einfachreihenbildner nach R. HUGERSHOFF mit Mattscheibenüberdeckungs- und Aufhängevorrichtung (Aerorotograf G m b H in Dresden)

feldseite fest angebrachten Fadens zusammenfällt. Das Fernrohr ist gleich als Überdeckungsregler (S. 237) ausgebildet.

Die Planlegung des Filmes erfolgt durch Staudruck, die diesbezügliche Richtung ist auf S. 125 beschrieben. Über die Art des Filmitransportes vgl. S. 125. Die Kassette wird mit einem Filmstreifen von 55 m Länge und 19 cm Breite geladen, er reicht für etwa 290 Aufnahmen aus. Auf jeder derselben bildet sich der Blase einer Dosenlibelle eine fortlaufende Nummernfolge ab, die Trennlinien zwischen den Einzelaufnahmen werden fühlbar markiert. Auf der Kassette ist eine weitere Dosenlibelle angebracht, besondere Zahlenwerke zeigen die der gemachten Aufnahmen bzw. die Länge des noch zu belichtenden Filmbandes an.

Der Antrieb des gesamten Mechanismus erfolgt durch einen an der Wand angebrachten Propeller, dessen Umlaufzahl unter Beobachtung des Überdeckungsreglers durch Verwindung der Propellerflügel geregelt werden kann. Der mechanische Antrieb kann ausgeschaltet und durch Handantrieb ersetzt werden.

Das Gewicht der Kammer beträgt mit allem Zubehör einschließlich geladener Wechselskassette 35 kg.

b) Einfachreihenbildner nach R. HUGERSHOFF<sup>1</sup> Das in Abb 186 gestellte automatische Aufnahmegerät wird von G. HEYDE in Dresden in 1 Ausführungsbauform gebaut, die sich nur durch die Objektivreweite und die Größe des quadratischen Bildformates unterscheiden. Der Normaltyp besitzt ein Objektiv von 13,5 cm Brennweite bei einem Bildformat von 12 x 12 cm. Die beiden anderen Modelle haben die Bildformate 18 x 18 cm ( $f = 21$  cm), 6 x 6 cm ( $f = 6$  cm), bei letzterem Format wird der dem Quadrat eingeschriebene Kreis voll ausgenutzt (vgl. S. 110). Als Objektive werden bei allen Modellen im allgemeinen Tessare 1:4,5 mit stabilem Zentralverschluß verwendet. Die Ablaufdauer des Verschlusses kann durch Hebeleinstellung zwischen Grenzen  $\frac{1}{40}$  und  $\frac{1}{200}$  Sekunde kontinuierlich geregelt werden. Ebenfalls durch Hebeleinstellung werden dem Objektiv wahlweise zwei verschieden dichte Gelb-

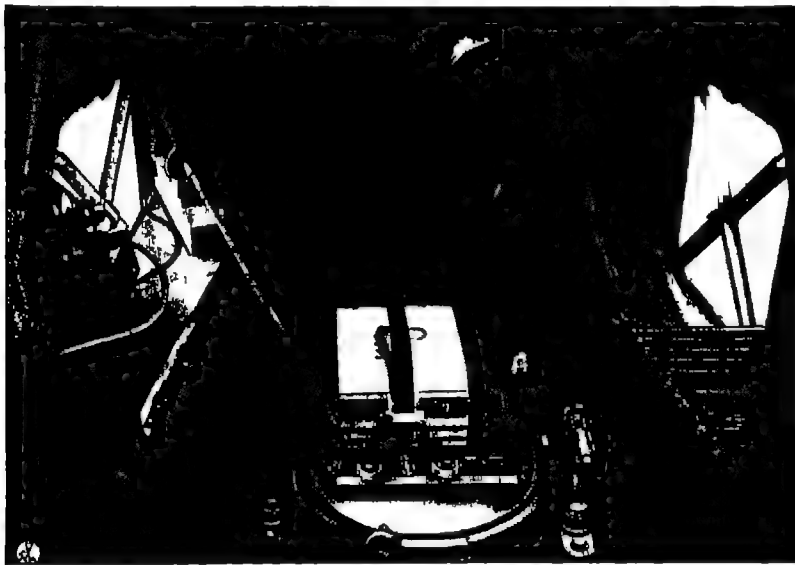


Abb 187 Einfachreihenbildner nach R. HUGERSHOFF, Einbau im Flugzeug (JUNKERS W 93)

oder eine einfache Planparallelplatte vorgeschaltet. Die Bildmarken einschließlich einer Marke für den Kammerhauptpunkt haben die gleiche Anordnung und Form wie an der entsprechenden Handkammer (S. 144). Kleine Kreise mit einem Durchmesser von 1 mm sind auf einer fest in der Bildebene der Kammer angebrachten planparallelen Glasplatte, gegen welche der Film kurz vor der Belichtung auf mechanischem Wege gepreßt wird. Einzelheiten über den Filmttransport s. S. 122 und S. 123, über die Planlegung des Filmes s. S. 125. Die zum bequemen Einlegen des Filmbreites in drei Teile zerlegbare Kassette faßt beim Normaltyp 60 m Filmbreite von 12 cm Breite, entsprechend etwa 400 Einzelaufnahmen. Auf ihnen ruht sich eine Dosenkappe ab, deren Schliffradius gleich der Objektivreweite ist, so daß sich aus der Blasenstellung unmittelbar die ungefähre Lage des Nadirpunktes ergibt. Im Deckel der Kassette ist neben einer weiteren Dosenkappe ein mit einem Handgriff auf Null einstellbares Zahlwerk für die Anzahl der bereits aufgenommenen Bilder untergebracht. Die Kammer ist in zwei Hälften federnd gelagert. Die Cardanringe sind mit Griffscheiben gegen-

<sup>1</sup> R. HUGERSHOFF: Bildmessung u. Luftbildwesen 4, 1929 S. 24.

seitig einstellbar. Die Aufhängevorrichtung kann im äußeren Cardanring um eine vertikale Achse zur Kompensation der Abtrift gedreht werden. Letzterer wird in einem seitlich an der Kammer angebrachten Mattscheibensucher fest gestellt, dessen Bildfeld gleich dem der Kammer ist, das Objektiv des Suchers hat ein Öffnungsverhältnis von 1:3,1. Der Mattscheibensucher enthält einen neuartigen Überdeckungsregler, der auf S. 237 beschrieben ist. Der Antrieb des Reihenbildners bzw. des Überdeckungsreglers erfolgt im allgemeinen direkt durch einen Propeller mit beliebig einstellbarer Flügelverwindung (S. 242), das Gerät kann aber auch durch irgendeinen anderen Motor angetrieben werden (vgl. Abb. 187). Durch einfachen Druck auf einen Umschalthebel können Einzelaufnahmen ausgeführt werden, bei denen der Motor Filmtransport, Verschlussspannung und Planlegung vornimmt, die Auslösung erfolgt dann im gegebenen Augenblick durch einen Handgriff. Nach Leerlaufstellung oder Abschaltung des Motors können Reihen- oder Einzelaufnahmen auch durch Drehung einer Kurbel von Hand ausgeführt werden.

Die Ausmaße des Normaltyps sind sehr gering: 30 × 25 × 33 cm. Der Durchmesser des äußeren Cardanringes ist 38 cm, die Höhe des Kassettendeckels über dem Grundring 25 cm. Die gesamte Einrichtung wiegt etwa 28 kg.

c) Cylindrograph-Reihenbildner nach H. BOYKOW. Das 1921 unter dem Namen „Panorama-Reihenbildkammer“ erstmalig gezeigte Gerät<sup>1</sup> ist im Prinzip eine Zylinderkammer von der durch MOUSSARD bekannt gewordene und durch BAGLEY einer umfangreichen terrestrischen Verwendung zugeführte Bauart (S. 136). Das Objektiv der Kammer ist demnach um eine durch seinen hinteren Hauptpunkt gehende Achse mitsamt einem Lichtschacht mit Schlitz verschwenkbar. Im Gegensatz zu den terrestrischen Kammeren wird aber hier die Schwenkachse wagrecht gelagert. Da sie im übrigen in der Flugrichtung liegt, wird bei einem Arbeitsgang ein Streifen winkelrecht zur Flugrichtung aufgenommen, der theoretisch vom linken Horizont zum rechten Horizont reicht. Für die fortlaufende Aufnahme solcher Streifen sind Abtriftmesser und Überdeckungsregler vorgesehen. Konstruktiv unterscheidet sich die Boykowsch-Kammer von den erwähnten anderen Geräten dadurch, daß die Filmrollen nicht fest angeordnet, sondern mit dem schwenkbaren Lichtschacht verbunden sind. Infolgedessen darf hier der Film während der Aufnahme nicht ruhen, sondern muß sich kontinuierlich gegen den Lichtschlitz, entgegengesetzt zu dessen Verschwenkungsrichtung, mit der gleichen Geschwindigkeit wie der Lichtschlitz verschieben. Der Effekt ist der gleiche, wie wenn der Film in Ruhe und auf einer zylindrischen Fläche angebracht wäre. Die perspektive Richtigkeit des Bildes wird durch die gewollte und die zufällige Bewegung des Luftfahrzeuges natürlich gemindert, die Fehler lassen sich aber in erträglichen Grenzen halten durch Verkürzung der Umlaufzeit des Objektivs und seiner Brennweite, die bei der Boykowschen Konstruktion mit 21 cm etwas zu groß erscheint.

Auf die bei Weitwinkelaufnahmen ganz allgemein geringe Einsicht in Bodenfallen usw. wurde auf S. 150 hingewiesen. Hinsichtlich ihrer unmittelbaren Anschaulichkeit sind aber solche Streifenaufnahmen für Übersichtszwecke der Aufnahmen mit Mehrfachkamern vorzuziehen. Auch hinsichtlich der Ausmessung, falls eine solche in Frage kommt, bieten die Streifenpanoramen Vorteile: die mäßige Konvergenz der bestimmenden Zielstrahlen gestattet eine bequeme und kontinuierliche stereoskopische Ausmessung, die gegebenenfalls in Aerokartographen und besonders im Aerosymplex ohne weiteres vorgenommen werden konnte.

Das komplette erste Modell des Gerätes hat das ziemlich hohe Gewicht von 79 kg.

<sup>1</sup> Internat. Luftfahrtausstellung in Berlin.

**40 Mehrfachreihenbildner.** a) Zweifachreihenbildner von CARL ZEISS in Jena. Das Gerät besteht (Abb 188) aus einer starren Verbindung zweier Einfachreihenbildner der auf S 152 beschriebenen Art. Die Kammer wird so in das Flugzeug eingebaut, daß die (im allgemeinen vertikal gestellte) Ebene durch die beiden Objektivachsen winkelrecht zur Flugrichtung liegt. Es wird ein Bildfeld umfaßt in der Flugrichtung  $44^\circ$  und in der Achsebene  $84^\circ$ , da die beiden Kammerachsen je  $20^\circ$  gegen die Vertikale geneigt sind. Infolge dieser Neigung sind die Aufnahmen dem Entzerrungsverfahren nur in völlig flachem Gelände zugänglich (S 22). Die Überdeckung der in der Flugrichtung aufeinanderfolgenden Bilder kann bei Benutzung der beim Einfachreihenbildner beschriebenen Einrichtung beliebig geregelt werden.

Die Aufhängevorrichtung ist so gebaut, daß durch Betätigung eines Handhebels die Ebene durch die Objektivachsen aus der normalen vertikalen Lage

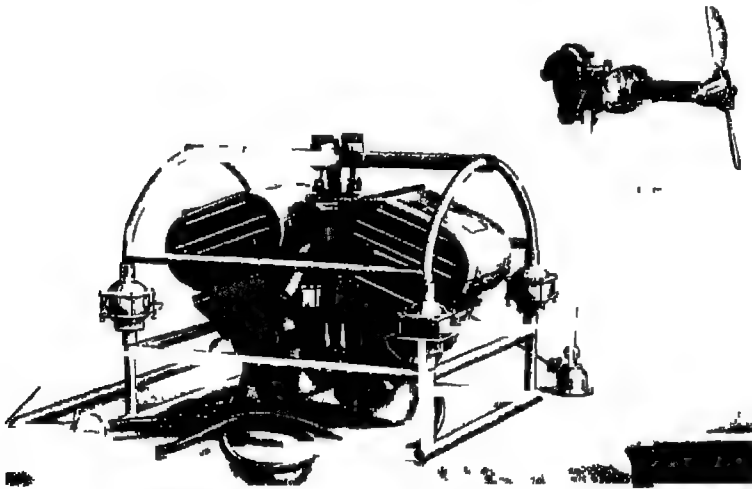


Abb 188 Zweifachreihenbildner der Fa. CARL ZEISS in Jena in Aufhängevorrichtung

$20^\circ$  in oder gegen die Flugrichtung geneigt werden kann. Auf diese Weise läßt sich bei Kombination von senkrecht und schräg aufgenommenen Doppelreihen eine paarweise Überdeckung innerhalb der Bildstreifen von 100% mit einem Verhältnis der Basis zur Flughöhe von etwa 1 : 3 erzielen. Die Anwendung dieser Aufnahmemethode dürfte infolge ihrer in das Aufnahmeverfahren gebrachten Komplikation nicht immer ratsam erscheinen.

Wird der Einbau der Kammer ins Flugzeug so vorgenommen, daß die Ebene durch die Objektivachsen mit der Vertikalebene durch die Flugrichtung zusammenfällt, so kann die Kammer für ein besonderes Triangulationsverfahren Anwendung finden, vgl. Koppelreihen S 199.

Das Gewicht des kompletten Gerätes beträgt etwa 60 kg.

b) Dreifachreihenbildner von E. LABRELY in Paris<sup>1</sup>. Das in

<sup>1</sup> 1 in Dreifachreihenbildner besonderer Art wurde von H. BOYKOW angegeben. Er besteht aus einer festen Verbindung von zwei Plattenreihenbildnern und einem Mittelreihenbildner. Da die Kammer speziell für ein besonderes, noch nicht erprobtes Aufnahmeverfahren, bei dem gleichzeitig zwei Flugzeuge Verwendung finden sollen (S 194), bestimmt ist, so sei hier auf H. LANCHORI, Bildmessung u. Luftbildwesen 1, 8, S 32 verwiesen.



Abb 189 im Schnitt dargestellte Gerät besteht aus zwei seitlichen Kammer mit dem Bildformat 16,5 16,5 cm (Objektive 1 5,7,  $f = 30$  cm) und eine Mittelkammer vom Bildformat 15,5 16,5 cm mit einem Objektiv 1 5,7,  $f = 28$  cm

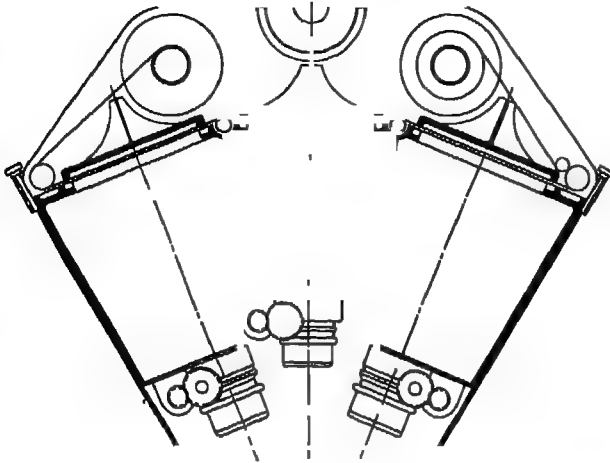


Abb 189 Dreifachreihenbildner nach L. LABNÉLY, Konstruktions-schema

Außer durch diese fi eine wirtschaftliche Ver arbeitung der Aufnahme wenig zweckmäßige Ver schiebenheit der Einzel kammern unterscheidet sich die Konstruktion von den oben beschriebene durch die Art der Platz legung des Filmes, er wird durch Einpressen in Nuten am Rande des Bildfelds gespannt. Die durch ihre großen Wirkungsgrad aus gezeichneten Verschluss sind auf S 113 beschrie ben. Die an der vorliegen den Konstruktion fehlen den Bildmarken ließ sich leicht anbringen

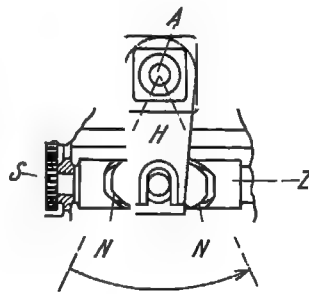
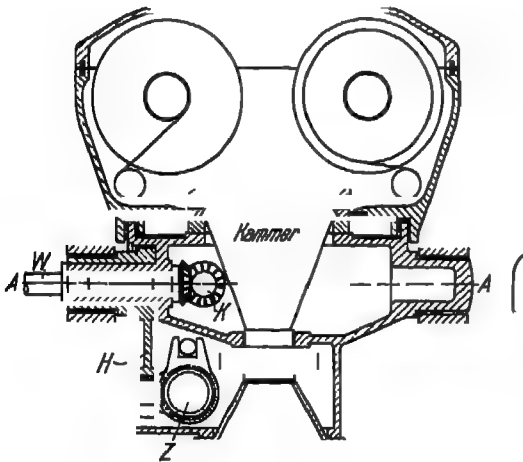


Abb 190 Triplex-Reihenbildner nach R. HUGERSHOFF, Konstruktions-schema (A. H. PHOTOGRAPH G. m. b. H. in Dresden)

Über den Filmtransport ist Näheres nicht bekannt geworden. Das 60 lange Filmband liefert etwa 100 Dreifachaufnahmen, die winkelmäßig zu Flugrichtung, bzw. in derselben ein Bildfeld von  $70^\circ$  bzw. etwa  $30^\circ$  umfassen.

Das Gewicht der Kammer allein beträgt etwa 35 kg.

c) Triplex-Reihenbildner nach R. HUGERSHOFF. Die aus aufnahmen technischen Gründen erwünschte möglichst große Breite des bei einem Flug aufgenommenen Geländestreifens findet, wie oben ausgeführt wurde, ihre Grenzen

en Auswertemöglichkeiten der voll ausnutzbare Bildfeldwinkel des Streifens  $l$   $65^\circ$  im allgemeinen nicht überschreiten. Da nun schon das Bildfeld eines achen Reihenbildners durchschnittlich  $44^\circ$  bis  $48^\circ$  umfaßt, so erscheint die wendung von starren Kombinationen aus zwei und drei Einzelkammern mit ksicht auf ihren Umfang, ihr Gewicht, die Kompliziertheit ihres Antriebes der Prüfung der gegenseitigen Kammerlage wenig zweckmäßig. Deshalb R. HUGENHOF einen Einkammer-Dreifachreihenbildner konstruiert, der einer Verbindung seines Einfachreihenbildners (S 153) mit einer automati- n Schwenkeinrichtung besteht, die in einer zur Flugrichtung winkelrechten ikalebene wirksam ist. Dementsprechend stellt dieser Reihenbildner Gruppen e drei Einzelaufnahmen her, die rasch aufeinanderfolgen, die einander ent- ehenden Einzelaufnahmen der Folgegruppen überdecken sich zu 60%. Es ben sich also ein zentraler und zwei seitliche Bildstreifen, die einander parallel und deren Ausarbeitung getrennt erfolgt, die gegenseitige Orientierung der elbilder dieser Streifen geschieht auf optisch-mechanischem Wege (paar- ie Bildorientierung, S 184, bzw. Aerotriangulation in Normalreihen, S 200). Konstruktion der Schwenkeinrichtung, die zunächst bei dem kleinen Reihen- ner 6 cm,  $f = 6$  cm, Verwendung findet, ist schematisch in Abb 190 darge- it. Die in der Schwenkachse  $A$  des Reihenbildners liegende Antriebswelle  $W$  be- gt über das Kegelradgetriebe  $K$  den Mechanismus des eigentlichen Reihen- ners und über das Stirnradgetriebe  $S$  einen mit einer Transportnut  $N$  versehenen der  $Z$ . In dieser Nut wird ein Stift geführt, der bei einer Rotation des Zylins eine hin- und hergehende Bewegung ausführt, die sich mittels des Hebels  $H$  das Kammergehäuse überträgt. In der Anfangsstellung ist die Kammer n links verschwenkt, während der Schwenkung der Kammer nach rechts lgen kurz hintereinander die Aufnahmen 1, 2 und 3. Der automatische Rück- sport der Kammer in die Anfangslage geschieht in der Arbeitspause bis zur hsten Dreifachgruppe. Durch die auch für Zweifachaufnahmen einrichtbare wenkeinrichtung wird das Gewicht des Reihenbildners um 3 kg erhöht.

## D. Meßkammerkonstanten und ihre Bestimmung

**41. Beziehungen zwischen innerer Orientierung der Bilder und Kammer- konstanten Öffnungswinkel.** Für die Rekonstruktion der Meßbilder ist, wie ugt wurde, die Kenntnis ihrer „inneren Orientierung“, d. h. ihre Lage zum mmerobjektiv im Augenblick der Aufnahme, im allgemeinen unerläßlich.

Für diese Lagebestimmung verwendet man gewöhnlich (vgl. S 9) den ldhauptpunkt<sup>1</sup> und die „Bildweite“.

Der Bildhauptpunkt wird definiert als Fußpunkt des vom hinteren ektivhauptpunkt  $O_2$  auf die Bildebene gefallten Lotes, er soll auf jeder elnen Aufnahme durch den Schnittpunkt der (ideellen) Verbindungslinien vier „Bildmarken“ angegeben werden, die durch geeignete, in der Kammer ebrachte Markenträger (vgl. oben S 104) erzeugt wurden, und die im allge- nen so justiert sind, daß die Verbindungslinien der von ihnen in der Ebene des drahmens  $R$  erzeugten Bildmarken den Fußpunkt des vom hinteren Objek- auptpunkt auf die Rahmenebene gefallten Lotes ergeben. Dieser „Kammer- ptpunkt“ entspricht aber selbstverständlich nur dann jenem oben definierten dhauptpunkt, wenn die Bildebene  $B$  im Augenblick der Aufnahme am Bild- men allseitig anlag oder mindestens ihm parallel war. Für dieses Anliegen es — wenigstens bei Verwendung von Glasplatten in Wechselskassetten — urlei Sicherheit<sup>1</sup>. Infolgedessen kann der Schnittpunkt der Bildmarkenlinien

<sup>1</sup> P. NOWATZKY, Jahrbuch d. Reichsamts f. Landesaufnahme 1920/21, Berlin 1922

(vgl. Abb 191) im allgemeinen nur als Perspektive des Kammerhauptpunktes, nicht aber als Bildhauptpunkt angesprochen werden

Die Bildweite wird definiert als die Länge des vom hinteren Objektivhauptpunkt auf die Bildebene gefallten Lotes. Bezüglich dieser Bildweite wurden in den zahlreichen Abhandlungen<sup>1</sup> über die Bestimmung der inneren Orientierung fast stets vorausgesetzt, daß sie konstant sei. Diese Voraussetzung ist aber unzutreffend, die Bildweite ist wegen der Abhängigkeit des Kammerkörpers von der Temperatur nicht einmal konstant für die Rahmenebene. Der Abstand der Bildebene aber wird außerdem beeinflusst durch die schon erwähnte Unsicherheit der Anpassung der Platten gegen den Bildrahmen. Überdies ist zu beachten, daß bei Verwendung von Filmen nach deren Entwicklung, Fixierung und Trocknung eine allgemeine Maßstabsänderung des Bildes eintritt, die praktisch ebenfalls einer Bildweitenänderung gleichkommt.

Es ergibt sich also, daß die bisher als „Konstanten der inneren Orientierung“ bezeichneten Größen Bildhauptpunkt und Bildweite für beliebige Aufnahme mit derselben Kammer nicht konstant und darum im allgemeinen und vorbehaltlos weder für die innere Orientierung des Bildrahmens und damit der Meßkammer

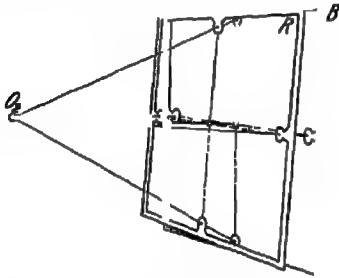


Abb 101 Bildrahmen und Bildebene

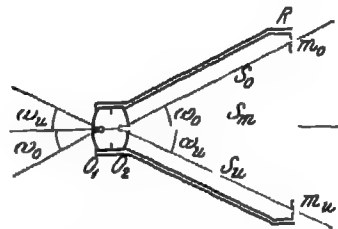


Abb 102 Öffnungswinkel als Kammerkonstante

noch für die innere Orientierung der Meßbilder selbst charakteristisch sind. ] Unzweckmäßigkeit der Verwendung der Bildweite oder gar der Brennweite des Objektivs ergibt sich auch aus den Ausführungen F. WEIDERTS.<sup>2</sup>

An Stelle von Bildhauptpunkt und Bildweite wurden deshalb von R. HUGERSHOFF bereits 1922 die vier Winkel  $\omega$  („Öffnungswinkel“) eingeführt, welche (vgl. den schematischen Vertikalschnitt durch eine Kammer in Abb 102) vier Bildstrahlen  $S$  vom hinteren Objektivhauptpunkt  $O_2$  nach den im Bildrahmen liegenden lochförmigen Marken  $m$  mit der Richtung  $S_m$  nach dem Schnittpunkt ihrer Verbindungslinien<sup>3</sup> einschließen. Da diese Winkel durch Temperaturänderungen des Kammerkörpers praktisch nicht verändert werden (Abb 103), so sind sie wirkliche „Konstanten“ einer Meßkammer, da ferner die Strahlen  $S$  in nur den Rahmenmarken, sondern auch den Abbildungen derselben, den Bildmarken, und zwar bei jeder beliebigen Lage der Bildebene zur Rahmenebene (Abb 191), entsprechen, sind diese Öffnungswinkel zugleich auch die „Konstanten“ der inneren Orientierung der Meßbilder. Die einer beliebigen Aufnahme mit einer bestimmten Meßkammer zukommende innere Bildorientierung läßt sich jetzt einfach — unabhängig von thermischen und mechanischen Vorgängen

<sup>1</sup> Vgl. S 162, Fußnote 2

<sup>2</sup> F. WEIDERT, Die Eigenschaften des photographischen Objektivs mit Rücksicht auf seine Verwendung zur Bildmessung, Vorträge usw., Berlin 1927. Auch Phot. Korrespondenz 68 1928, S.

<sup>3</sup> Dieser Schnittpunkt braucht theoretisch nicht identisch zu sein mit dem Kammerhauptpunkt.

immer und Kassetten und unabhängig von Maßstabsänderungen des Aufnahme-  
materials im Bildträger des Auswertegerätes — dadurch wiederherstellen, daß man  
Abstand und die Neigung des Meßbildes gegenüber dem Bildträgerobjektiv  
ändert, daß die Winkel zwischen den Bildmarken und dem Schnittpunkt

Verbindungslnien gleich den entsprechenden Öffnungswinkeln der Meß-  
kammer werden. Die hierzu notwendigen Einrichtungen (vgl. S. 46 und S. 162)  
sind in aller Vollständigkeit zur Zeit nur der Autokartograph und der Aero-  
graph. Die übrigen Auswertegeräte setzen vollige Gleichartigkeit und  
Stanz der inneren Orientierung der Meßkammer, aller mit ihr hergestellten  
Karten und der zur Auswertung benutzten Bildträger voraus.<sup>1</sup>

Zur Einstellung der Öffnungswinkel werden Horizontal- und Vertikalkreis-  
Einstellvorrichtungen am Auswertegerät (Abb. 119) benutzt, sind die Rahmen-  
seiten so justiert, daß ihre Verbindungslnien winkelrecht aufeinanderstehen,  
und bei vertikaler Lage des Meßbildes und horizontaler Lage einer der Marken-

den die Öffnungswinkel einfach  
Horizontal- bzw. Vertikalwinkel  
sind, wenn der Schnittpunkt der  
Verbindungslnien und der  
mittleren, bzw. oberen und  
unteren Bildmarke. Da die Wieder-  
herstellung der inneren Orientierung  
besten bei derjenigen (ungefäh-  
rigen) Verkantung der Aufnahmen er-  
reicht, die ihrer äußeren Orientierung  
entspricht, sind die Marken in der  
Mitte der Rahmenseiten, nicht in den  
Ecken, anzubringen. Die Erzeugung  
Bildmarken durch Linsen (vgl.  
S. 104) ist wenig günstig, da der-  
artige Einrichtungen die exakte Be-  
stimmung der Öffnungswinkel durch-  
geführte Messungen an der Kam-  
mer (vgl. S. 163) nicht gestatten.

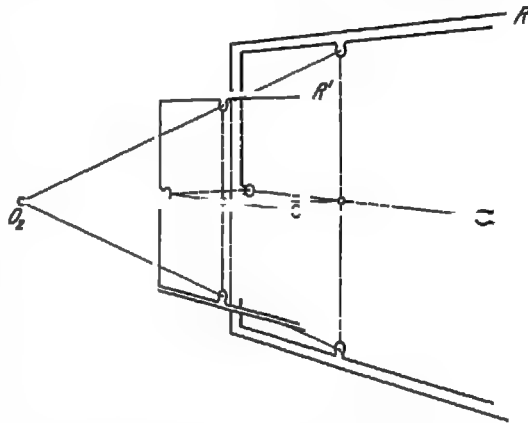


Abb. 103 Temperatureinfluss und Meßkammerkonstanten

**42. Photographische Bestimmung des Kammerhauptpunktes und der (zu-  
gehörigen) Bildweite der Rahmenebene; Ableitung der Öffnungswinkel aus diesen**  
Trotz der geschilderten Unzulänglichkeit von Bildhauptpunkt und  
Bildweite als Orientierungselemente ist ihre Verwendung nicht zu umgehen.  
Geräten, die, wie z. B. der Stereokomparator und der Stereoautograph,  
Rekonstruktion mit Hilfe der Bildpunktkoordinaten vornehmen.<sup>2</sup> Es müssen  
daher im nachstehenden die Grundlagen für die Ermittlung dieser Werte ge-  
geben werden.

<sup>1</sup> Die an einigen Auswertegeräten vorhandene Einrichtung zur Änderung der  
Bildweite ermöglicht nur die Verwendung von Aufnahmen mit verschiedenen  
Kammern, deren „Bildweite“ aber wieder als konstant vorausgesetzt wird.

<sup>2</sup> Hierin liegt ein besonderer Nachteil dieser ja auch von den Verzeichnungs-  
geräten des Aufnahmeobjektivs in stärkerem Maße abhängigen Instrumente. Wenn  
auch Nachteile seltener in Erscheinung treten, so liegt dies zum Teil daran, daß bei  
stereoskopischen Aufnahmen, für die jene Geräte ausschließlich bestimmt sind, die  
endeten einfachen Kassetten oder Doppelkassetten eine größere Sicherheit der  
Messung an den Bildrahmen geben und die Temperaturverhältnisse bei Prüfung  
Gebrauch der Kammer nicht allzu verschieden sind. Im übrigen vgl. die Arbeit  
NOWATZKY.

Photographiert man bei genau vertikaler Stellung des Bildrahmens u horizontaler Lage einer der Markenverbindungslinien (mindestens) drei markierten Geländepunkte  $P_1 P_2 P_3$ , zwischen denen vom gleichen Standpunkt (Objektmitte) aus die Horizontalwinkel  $\alpha$  und  $\beta$  gemessen wurden, so ist durch den Winkel ein Strahlenbuschel gegeben, das durch Bildweite und Bildabszisse ebenfalls festgelegt ist. Graphisch kann man die Bestimmung des Bildhauptpunktes in der Weise vornehmen, daß man die Bildpunkte auf die horizontale Bildhorizont angenommene Markenlinie projiziert und diese drei Projektionen 1, 2 und 3 der Bildpunkte auf einen Papierstreifen (Abb. 194) überträgt. Zeichnet man jetzt die drei beobachteten Strahlen — durch Auftragen beider Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  — und verschiebt den Papierstreifen so lange, bis die drei Strahlen durch die ihnen entsprechenden Marken auf dem Streifen gehen, so entspricht offenbar der Fußpunkt des vom Winkelscheitel  $O$  auf die Streifenkante gefallenen Lotes der Horizontalprojektion des Bildhauptpunktes  $H$  und damit auch des Kammerhauptpunktes, wenn die Platte streng am Mark

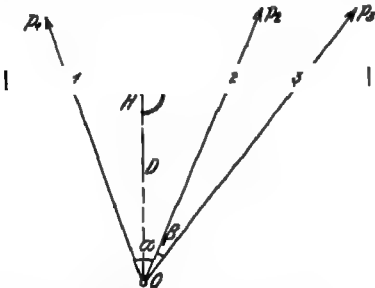


Abb. 194 Graphische Ermittlung der (zufälligen) Bildweite

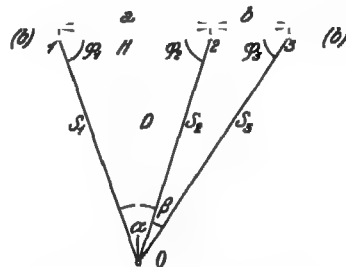


Abb. 195 Rechnerische Ermittlung der (zufälligen) Bildweite

rahmen anlag. Die Länge des Lotes entspricht der (zufälligen) Bildweite  $D$ . Prüfaufnahme, bzw. des Bildrahmens. Überträgt man den Lotfußpunkt,  $e$  mit Hilfe der Strecke  $l_H$ , in das Photogramm, so wird die Hauptpunktprojektion im allgemeinen eine seitliche Abweichung  $x_H$  von der  $vv$ -Linie zeigen, die zweckmäßig durch eine entsprechende Verschiebung der  $vv$ -Marken zu beseitigen. Zur Ermittlung der Abweichung  $y_H$  des Hauptpunktes gegenüber der  $hh$ -L kann man eine zweite Prüfaufnahme machen, nachdem man die Kammer umgedreht hat, so daß jetzt die  $vv$ -Linie genau waagrecht wird<sup>1</sup>. Man kann aber auch aus der gleichen Aufnahme ablesen, wenn man (mindestens) einen Höhenwinkel  $\tau$  nach den photographierten Objektpunkten gemessen hat, ergibt sich z. B. aus  $\tau_2$  und der Strecke  $\overline{O2}$  die Ordinate  $y_2$  über dem Bildhorizont

$$y_2 = \overline{O2} \cdot \operatorname{tg} \tau_2$$

und — mit  $y'_2$  als Ordinate des Bildpunktes  $p_2$  über der  $hh$ -Linie —

$$y_H = y'_2 - y_2$$

Auch hier wird man zweckmäßig die  $hh$ -Linie entsprechend verschieben, daß jetzt der Hauptpunkt mit dem Schnittpunkt der Markenlinien zusammenfällt.

Genauer gestaltet sich selbstverständlich die rechnerische Bestimmung von  $H$  und  $D$ , die hier<sup>2</sup> in Anlehnung an die in der Vermessungskunde übliche Art des ebenen Rückwärtseinschneidens durchgeführt werden soll.

<sup>1</sup> R. HUGERSHOFF und H. CRANZ, Grundlagen usw., S. 14

<sup>2</sup> Über andere Berechnungsmethoden vgl. die früher genannten älteren Lehrbücher d. Photogrammetrie

Wir bezeichnen (Abb 195) mit  $(b)$  die Spur der (positiven) Bildebene Grundriß, mit  $O$  den entsprechenden Objekthauptpunkt und mit 1, 2 und 3 Projektionen der drei Bildpunkte  $p_1 p_2 p_3$  auf die (hier mit  $(b)$  zusammen-  
 nende)  $h$ -Linie, so daß  $S_1 S_2 S_3$  die Horizontalprojektionen der Bildstrahlen  
 , zwischen denen die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  gemessen wurden

Aus der Figur ergibt sich für  $S_2$

$$S_2 = \frac{a}{\sin \alpha} \sin \varphi_1 \quad (a)$$

auch

$$S_2 = \frac{b}{\sin \beta} \sin \varphi_3 \quad (b)$$

aus folgt

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_3} = \frac{b}{\sin \beta} \frac{a}{\sin \alpha} \quad (c)$$

Dieser Quotient läßt sich berechnen, da sich ja auch die Strecken  $a$  und  $b$   
 in direkte Abmessungen dem Photogramm entnehmen lassen

Setzen wir

$$\frac{b}{\sin \beta} \frac{a}{\sin \alpha} = \frac{1}{\operatorname{tg} \lambda}, \quad (d)$$

ergibt sich aus (c) und (d) durch korrespondierende Subtraktion und Addition

$$\frac{\sin \varphi_1 - \sin \varphi_3}{\sin \varphi_1 + \sin \varphi_3} = \frac{1 - \operatorname{tg} \lambda}{1 + \operatorname{tg} \lambda} = \operatorname{ctg} (45^\circ + \lambda) \quad (e)$$

nun

$$\sin \varphi_1 - \sin \varphi_3 = 2 \sin \frac{\varphi_1 - \varphi_3}{2} \cos \frac{\varphi_1 + \varphi_3}{2}$$

$$\sin \varphi_1 + \sin \varphi_3 = 2 \cos \frac{\varphi_1 - \varphi_3}{2} \sin \frac{\varphi_1 + \varphi_3}{2},$$

folgt durch Einsetzen dieser Werte in Gleichung (e)

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi_1 - \varphi_3}{2} = \operatorname{tg} \frac{\varphi_1 + \varphi_3}{2} \operatorname{ctg} (45^\circ + \lambda) \quad (f)$$

nun (s. Abb 195)

$$\varphi_1 + \varphi_3 = 180^\circ - (\alpha + \beta) \quad (g)$$

folgt aus (f)

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi_1 - \varphi_3}{2} = \operatorname{ctg} \frac{\alpha + \beta}{2} \operatorname{ctg} (45^\circ + \lambda) \quad (h)$$

Aus dieser Gleichung berechnet man in Verbindung mit Gleichung (d)  
 Differenz  $\varphi_1 - \varphi_3$ , womit sich in Verbindung mit (g) sowohl  $\varphi_1$  und  $\varphi_3$  als  
 — aus dem Dreieck  $1 O 2 - \varphi_3$  ergeben

Damit berechnet man

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \frac{a}{\sin \alpha} \sin \varphi_1 \\ S_2 &= \frac{a}{\sin \alpha} \sin \varphi_1 = \frac{b}{\sin \beta} \sin \varphi_3 \\ S_3 &= \frac{b}{\sin \beta} \sin \varphi_3 \end{aligned} \right\} \quad (i)$$

findet so die Abszissen  $X_1 X_2 X_3$  der drei Bildpunkte in bezug auf  $H$  aus  
 Gleichungen

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= S_1 \cos \varphi_1 \\ X_2 &= S_2 \cos \varphi_2 \\ X_3 &= S_3 \cos \varphi_3 \end{aligned} \right\} \quad (k)$$

Sind die vom Schnittpunkt der Markenlinien aus gemessenen Abszissen  $X_1'X_2'X_3'$ , so findet man als Hauptpunktabzisse in bezug auf den Schnittpunkt der Markenlinien

$$\left. \begin{aligned} X_H &= X_1' - X_1 \\ &= X_2' - X_2 \\ &= X_3' - X_3 \end{aligned} \right\}$$

deren Mittelwert die erforderliche Verschiebung der  $vv$  Linie angibt. An Hand der Abb 195 läßt sich ferner berechnen

$$\left. \begin{aligned} D &= S_1 \sin \varphi_1 \\ &= S_2 \sin \varphi_2 \\ &= S_3 \sin \varphi_3 \end{aligned} \right\}$$

Das Mittel aus diesen Ergebnissen ist die (zufällige) Bildweite der Prüfaufnahme bzw. unter der üblichen Voraussetzung<sup>1</sup> die Bildweite des Markenrahmens.

Über die „exakte“ Bestimmung von Hauptpunktlage und Bildweite bei Vorhandensein von mehr als drei bekannten Richtungen gibt es zahlreiche Sonderabhandlungen,<sup>2</sup> deren praktische Bedeutung mit Rücksicht darauf, sich die Ergebnisse nur auf die jeweilige Prüfaufnahme beziehen, nur gering

Mit der eben erhaltenen Bildweite  $D$  und den im Komparator zu messen Abständen  $s$  der vier Bildmarken vom Schnittpunkt der Markenverbindungslien lassen sich die vier Öffnungswinkel  $\omega$  aus den Beziehungen berech-

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \omega_l &= s_l / D \\ \operatorname{tg} \omega_r &= s_r / D \\ \operatorname{tg} \omega_o &= s_o / D \\ \operatorname{tg} \omega_u &= s_u / D \end{aligned} \right\}$$

**43. Direkte Bestimmung der Öffnungswinkel nach Prüfaufnahmen**  
**Messungen an der Kammer** Unabhängig von der Voraussetzung des Anlie- der Prüfaufnahme findet man aus einer solchen die Öffnungswinkel bei Ver- dung des HUGERSHOFFSchen Bildmeßtheodolits oder eines der Bildträger Autokartographen oder Aerokartographen

Hierzu photographiert man zweckmäßig bei vertikaler Lage der Rahmen- und horizontaler Lage einer der Markenlinien (mindestens) drei möglichst das gesamte Bildfeld der Aufnahme verteilte Objektpunkte, nach denen horizontalen und vertikalen Richtungen gemessen wurden. Hiernach wird Aufnahme in den Bildträger<sup>3</sup> eines der genannten Instrumente eingelegt, optische Achse des Bildträgers wagerecht gestellt und das Bild der horizontalen Markenlinie mit Hilfe des Beobachtungsfernrohres und der Verkantungsein- stellung horizontal ausgerichtet. Nun gelingt es leicht, durch systematische Be- gung der Einrichtungen für Bildweitenänderung, Verschiebung der Plati-

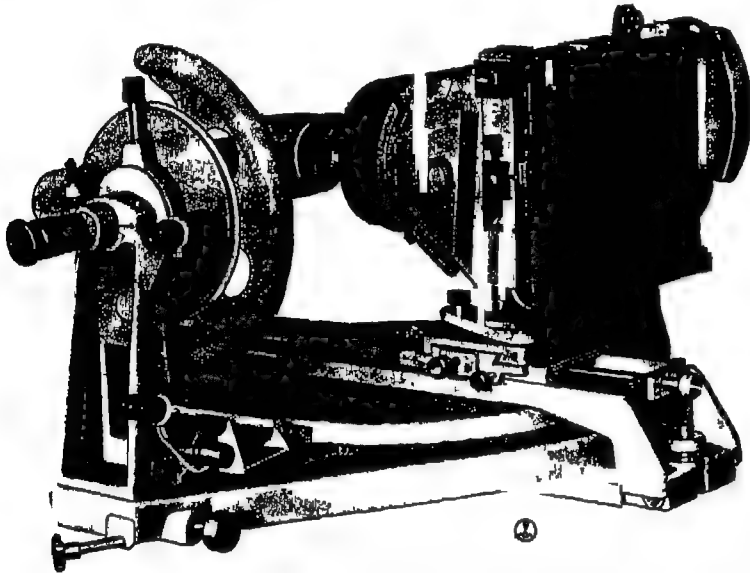
<sup>1</sup> Die Voraussetzung des Anliegens war erfüllt, wenn die inneren Maße des Rahmens der Kammer mit den entsprechenden Maßen an der Prüfaufnahme übereinstimmen. Derartige Kontrollen sollten an allen Gebrauchsaufnahmen vorgenommen werden, die für die Ausmessung im einfachen oder im Stereokomparator bestimmt sind.

<sup>2</sup> Vgl. die Zusammenstellung in HUGERSHOFF CRANZ Grundlagen usw., Anm. 1. Ferner: B. A. KLINGATSCH, Int. Arch. f. Photogram. 6, 1910—1923, 1; O. v. GRUBER, a. a. O., S. 82, S. WERLISCH, a. a. O., S. 127, I. BARSCHIN, Sch. ZS. f. Verm. 27, 1929, S. 31.

<sup>3</sup> Der Bildträger muß natürlich der Aufnahmekammer entsprechen.

der Ebene und Neigung der Platte um die *hh*- bzw *vv*-Linie, das Meßbild in die solche Stellung zu bringen, daß die (mindestens) drei zur Orientierung verwendeten Bildpunkte unter den vorgeschriebenen horizontalen und vertikalen Richtungen erscheinen. Nachdem so die der Prüfaufnahme zukommende (zufällige) Lage zum Aufnahmeobjektiv bzw zu dem ihm äquivalenten Bildtragerobjektiv wieder gefunden wurde, erhält man die gesuchten Öffnungswinkel durch Messung der Horizontal- bzw Vertikalwinkel zwischen dem Schnittpunkt der Rahmenlinien und den *hh*- bzw *vv*-Bildmarken.

Die Genauigkeit der so bestimmten Öffnungswinkel ist selbstverständlich abhängig von der Bildgüte der Prüfaufnahme und der Genauigkeit der Richtungsangaben nach den Objektpunkten. Die hierin liegenden Fehlerquellen werden vermieden, wenn die Öffnungswinkel der Meßkammer unmittelbar mittels



196 Kammerprüfungstheodolit nach R. HUGERSHOFF (AEROTOPOGRAPH G m b H in Dresden)

des Fernrohres beobachtet durch das Kammerobjektiv hindurch entnommen werden. Zu diesem Zweck hat R. HUGERSHOFF einen besonderen Kammerprüfungstheodolit (Abb 196) angegeben, der im wesentlichen aus einem Theodolit besteht, dessen Kippachse derart gekröpft ist, daß der vordere Hauptpunkt des Objektivs jeder beliebigen Meßkammer nahezu in den Schnittpunkt von Kipp- und Stehachse gebracht werden kann. Die Befestigungseinrichtung der zu untersuchenden Kammer gestattet es, diese seitlich so zu neigen, daß mit Hilfe des Fernrohres die Verbindungslinie eines Paares der Rahmenmarken horizontal gerichtet wird. Hiernach lassen sich die Öffnungswinkel (erforderlichenfalls bei Fernrohrlagen) schnell (gegebenenfalls vor und nach jeder Aufnahmereihe) mit großer Genauigkeit messen. Das Gerät ermöglicht gleichzeitig eine Ausrichtung bzw Justierung der winkelrechten Lage der beiden Markenverbindungen zueinander, außerdem ist das Fernrohr mit einem GAUSS'schen Okular<sup>1</sup> ausgerüstet, mit dessen Hilfe unter Benutzung eines auf dem Bildrahmen aufgestellten Planspiegels die Bildmarken so justiert werden können, daß der Schnitt-

<sup>1</sup> Vgl. CHE. v. HOFER, Fernoptik, S 65



punkt ihrer Verbindungslinien mit dem Hauptpunkt des Bildrahmens zusammen fällt. Über die Verwendung des Instrumentes zur Messung von Verzeichnungsfehlern s. S. 108.

Bei Doppel- und Mehrfachkammern ist außer der Bestimmung der inneren Orientierung jeder einzelnen Kammer noch die Feststellung der gegenseitigen Lage der Einstellkammer erforderlich. Das diesbezügliche Verfahren, für SOHMFFLUG Aufnahmen des Sternhimmels vorgeschlagen, ist umständlich, läßt eine in der Praxis erwünschte jederzeit mögliche und rasche Überprüfung nicht zu. Mit Rücksicht auf den auch aus anderen Gründen problematischen W. solcher Kammern (vgl. S. 150 und S. 200) sei deshalb nur auf die entsprechende Literatur verwiesen.<sup>1</sup>

## VII. Die mittelbare Bestimmung der äußeren Orientierungselemente

### A. Orientierung von Einzelaufnahmen

44. Graphische Spezialverfahren bei ebenem und wagrechtem Gelände. Die hier zu schildernden Methoden haben, sofern die Aufnahmen zur Herstellung von Lageplänen benutzt werden sollen, nur theoretisches Interesse, solche Lagepläne können ohne jede besondere Bestimmung der äußeren Orientierung, physisch (Bezugsnetze vgl. S. 12) oder optisch-mechanisch (Entzerrungsverfahren vgl. S. 17) aus den Bildern entwickelt werden. Die nachstehend beschriebenen Methoden sind streng, so lange die Voraussetzung ebenen und horizontalen Landes erfüllt ist, ihrer geringen praktischen Bedeutung wegen genügt hier Angabe graphischer Verfahren. Ist für bestimmte Sonderaufgaben — z. B. Standortbestimmungen zu Flugzeug-Geschwindigkeitsmessungen — eine größere Genauigkeit erwünscht, so sind die unten für den allgemeinen Fall angegebenen rechnerischen oder mechanischen Methoden anzuwenden.

a) Achsenkreuzverfahren. Legt man durch die Kammerachse in der Aufnahmestellung eine vertikale Ebene und eine zu dieser Ebene winklere Ebene, so ergeben die Spuren dieser Ebenen sowohl im Bild als in der Karte

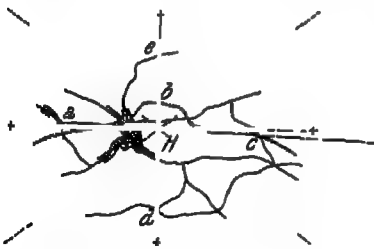


Abb. 197 Achsenkreuzverfahren, Bild

ebene je ein rechtwinkliges Achsenkreuz. Dabei bestimmt die Spur der Vertikale im Bild (Hauptvertikale) die Vertikale der Aufnahme bzw. die Richtung des Horizontes, die Spur der gleichfalls horizontalen Ebene der Karte bestimmt die Aufnahmegericht- bzw. einen geometrischen Ort für die Zentralprojektion des Standpunktes. Um die (eindeutige) Lage der beiden einander zugeordneten Achsenkreuze aufzufinden, überträgt man zunächst den Bildhauptpunkt auf die Karte, und zwar entweder durch unmittelbare

Identifizierung oder als Schnittpunkt der Diagonalen eines im Bild und auf der Karte identifizierten Vierecks, dessen Diagonalschnittpunkt im Bild mit dessen Hauptpunkt zusammenfällt. Dann legt man zwei Pauspapier gezeichnete rechtwinklige Achsenkreuze mit ihren Kreuzpunkten auf den Karten-, bzw. Bildhauptpunkt und dreht die Achsenkreuze um

<sup>1</sup> H. WEIDINGER, Mitt. d. Arbeitsgebiet d. Photogrammetrie G. m. b. H. 1927, H. 7/8, S. 6, K. MESSERER, ebenda S. 10.

kte, bis (vgl. Abb. 197 und 198) entsprechende Achsen durch identische Punkte gehen. Der Standort wird nun am einfachsten durch (ebenes) Rückwärts-schneiden in der Hauptvertikalebene gefunden. man konstruiert mit Hilfe der lweite die (Vertikal-) Winkel schon den Bildstrahlen nach idestens drei auf der Haupt-tikalalen bzw. der Aufnahme-rtung identifizierten Punkten, rträgt die Winkelschenkel auf ispapier und verschiebt dieses lange, bis (vgl. Abb. 199) die ikelschenkel durch die ihnen sprechenden Kartenpunkte en. Die Winkelrechte, gefällt a Winkelscheitel  $O$  auf die tenebene, ergibt den Aufnah-standpunkt  $O_0$  in der Karte, , stellt die Flughöhe im Kar-maßstab dar. Eine Parallele Aufnahme-richtung durch  $O$ , Spur des Aufnahmehorizontes er Hauptvertikalebene, schnei die Bildebene unter dem Kom-ment des Neigungswinkels.

b) Fluchtpunktverfahren.

Auf S. 11 wurde darauf hingewiesen, daß sich die Bilder paralleler und zontaler Geraden in einem Punkte (Fluchtpunkt) schneiden, der auf dem lhorizont liegt. Durch die Bilder von zwei Scharen verschieden gerichteter zontaler Parallelen ist also der Bildhorizont bestimmt. Identifiziert man da- im Bilde die Ecken eines beliebigen

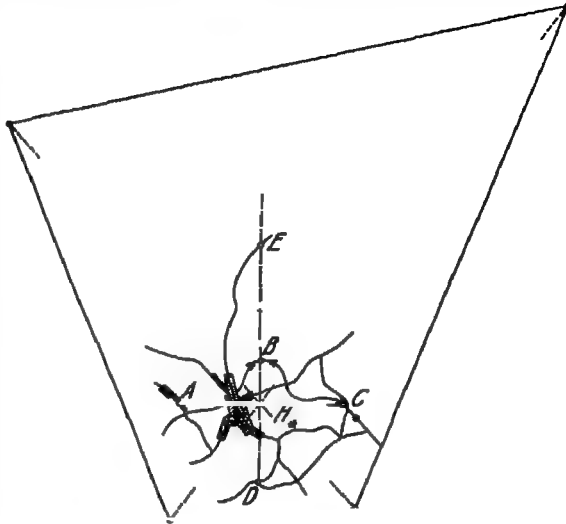


Abb. 198 Achsenkreuzverfahren, Karte

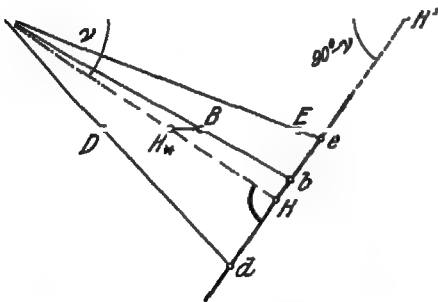


Abb. 199 Achsenkreuzverfahren, Ermittlung der Aufnahmeelemente

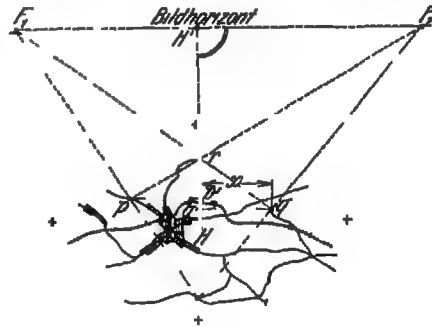


Abb. 200 Fluchtpunktverfahren, Bild

vier Kartenpunkten gebildeten Parallelogramms, so ergeben (vgl. Abb. 200 201) die Schnittpunkte  $F$  gegenüberliegender Seiten des Bildvierecks die e des Bildhorizontes. Die vom Bildhauptpunkt  $H$  auf den Bildhorizont ulte Winkelrechte  $HH'$  gibt die Richtung der Hauptvertikalen und damit h die Verkantung der Aufnahme. In dem aus der Bildweite und der ecke  $HH'$  gebildeten rechtwinkligen Dreieck (Abb. 199) ist der der Strecke ' gegenüberliegende Winkel der Neigungswinkel der Aufnahme. Die

Kartenprojektion  $O_0$  des Standpunktes kann durch (ebenes) Rückwärtseinschneiden mittels der Horizontalwinkel zwischen den Richtungen vom

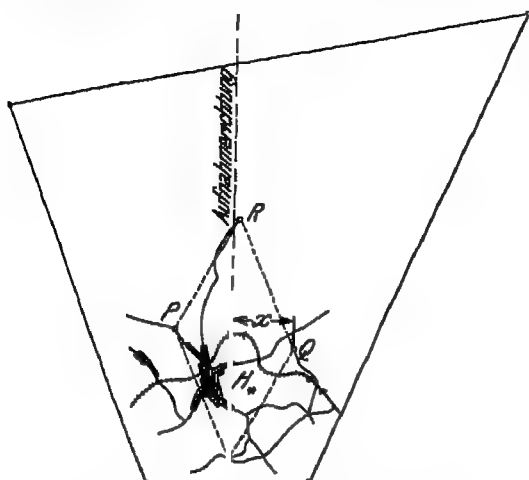


Abb 201 Fluchtpunktverfahren, Karte

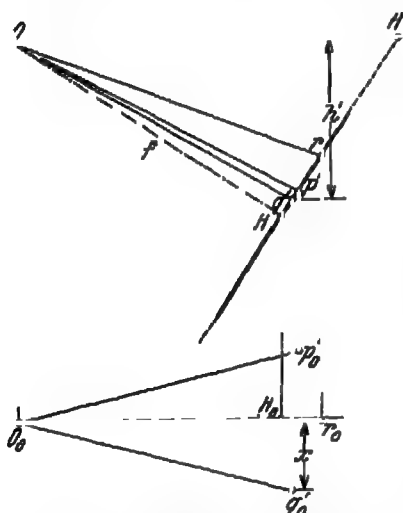


Abb 202 Fluchtpunktverfahren, Ermittlung der Aufnahmeelemente

punkt nach (mindestens) drei identifizierten Kartenpunkten. Diese Horizontalwinkel am einfachsten durch Ablesen der Bildpunkte in eine Ebene zur Kartenebene (Abb 20 auch Abb 52) gefunden, natürlich die Bildpunktkoordinaten auf die eben gefundene Hauptvertikale  $HH'$  zu beziehen und so konstruierte Strahlen  $O_0 p_0 r_0 q_0$  wird auf die Karte übertragen und in die Karte eingepaßt. Zur Ermittlung der Höhe  $H$  kann man von irgend einem gegebenen Kartenpunkt Winkelrechte zur Aufnahme ziehen, deren Länge  $X$  sei, Abszisse  $x$  des entsprechend

punktes und seinem Abstand  $h'$  vom Aufnahmehorizont (Abb 202) ergibt die Flughöhe  $H$

$$H = h' \frac{\lambda}{x}$$

Selbstverständlich können Standpunktprojektion und Flughöhe auch beim Fluchtpunktverfahren mittels Rückwärtseinschneiden in der Hauptvertikalebene gefunden werden. Hier wurde die Identifizierung zweier Punkten auf der Hauptvertikale der Aufnahme richtung genügen, als Punkt wird der unendlich ferne Punkt der Aufnahme richtung — mit seinem Abstand  $H'$  — benutzt<sup>1</sup>

45. Allgemeines anwendbares Verfahren (räumliches Rückwärtseinschneiden) ist nachstehend beschriebene Verfahren, das unabhängig von der Geländeaussage ihre Anwendung führt bei waagrechten und Schrägaufnahmen stets zum Ziel. In

Senkrechtaufnahmen versagen sie praktisch, hier ist die unter

<sup>1</sup> Die vorstehend geschilderten Verfahren zur Orientierungsermittlung bei Senkrechtaufnahmen. Hier sind erforderlichenfalls gewisse der im folgenden geschilderten Verfahren anzuwenden. Angenähert erhält man hier die Flughöhe  $H$  und dem Verhältnis entsprechender Karten- und Bildstrecken (vgl. S. 37). Die Lage des Standpunktes (Nadirpunktes) läßt sich mit einiger Genauigkeit nur dann angeben, wenn die Neigung der Kammerachse registriert wurde. Dies ist am zweckmäßigsten durch Mitabildung einer Dosenlibelle geschehen, aus deren Blasenaußschlag sich auch die Neigungskomponenten in Richtung der beiden Bildachsen (Haupt- und Querneigung) ableiten lassen. Die azimutale Neigung ergibt sich ohneweiters.

22) geschilderte optisch-mechanische Methode (für Bildentzerrung), bzw. gemeinsame Orientierung aufeinanderfolgender Meßbilder (S 184 für topographische Ausarbeitungen) anzuwenden

a) Näherungsorientierung mittels Bildmeßtheodolits Für eine solche Orientierung einzelner Schrägaufnahmen, die zu Richtungsmessungen<sup>1</sup> mittels Bildmeßtheodolits) etwa für militärische Zwecke dienen sollen, kann ein optisch-graphisches<sup>2</sup> Verfahren Verwendung finden. Man legt hierzu die Aufnahme unter einer geschätzten oder durch Registriervorrichtungen (S 106) näherungsweise angegebenen Neigung und Verkantung in den Bildträger des Bildmeßtheodolits und mißt die horizontalen und vertikalen Richtungen nach den Bildern von wenigstens vier ihren Raumkoordinaten nach bekannten Punkten, von denen ein Bildpunkt (1) möglichst nahe am Hauptpunkt, zwei andere (2 und 3) möglichst in der Haupthorizontalen und der vierte (4) möglichst in der Bildvertikalen liegen soll. Mittels der beiden Horizontalwinkel zwischen den drei Punkten in der Haupthorizontalen ergibt sich durch graphisches Ruckwarteinschneiden (Abb 203) die (genäherte) Standortsprojektion. Ein genauerer Wert für diese und insbesondere die Flughöhe

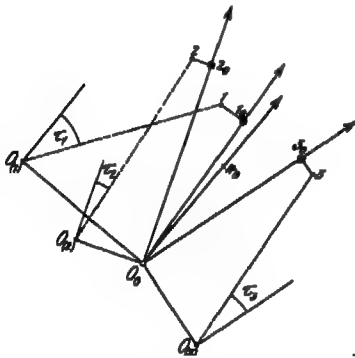


Abb 203 Näherungsweise Orientierung nach Richtungsmessungen

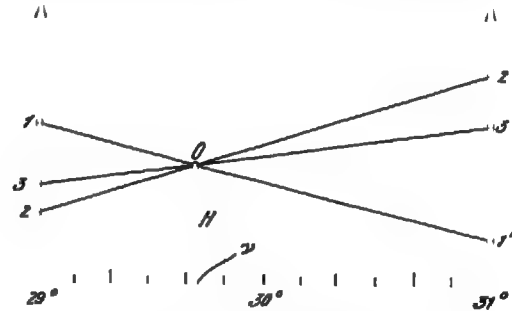


Abb 204 Graphische Ermittlung verbesserter Aufnahmeelemente ( $\gamma = 29^\circ 42'$ )

gibt sich aus der Beobachtung der Tiefenwinkel für den vierten Bildpunkt (der Hauptvertikalen) und für zwei der anderen Punkte. Aus jedem dieser Tiefenwinkel läßt sich die Flughöhe über einem beliebigen Ausgangshorizont rechnerisch oder graphisch (Abb 203) finden. Diese Höhen werden wegen der fehlerhaft angenommenen Bildneigung im allgemeinen nicht übereinstimmen. Man wiederholt deshalb das geschilderte Verfahren für ein oder drei verschiedene Annahmen hinsichtlich des Neigungswinkels und det dann mittels eines aus Abb 204 leicht ersichtlichen graphischen Ver-

<sup>1</sup> Vgl auch S 173, Fußnote 7

<sup>2</sup> Ein interessantes, wenn auch wenig übersichtliches graphisch-mechanisches Näherungsverfahren unter Benutzung der stereographischen Projektion des Gradnetzes einer Halbkugel (entsprechend den von KOHLSCÜTTER und KOERBER eingeführten Netzen zur Auflösung sphärischer Dreiecke) hat N G KELL, ZS f Verm 55, 26, S 225, angegeben. Er findet damit außer Neigung und Verkantung der Aufnahme die horizontalen Richtungen und Vertikalwinkel nach den gegebenen Punkten, aus denen sich die Standortkoordinaten rechnerisch oder graphisch ermitteln lassen. Vorbereitung für die exakte Orientierung der Aufnahmen in Auswertegeräten mittels dieses Verfahrens, wie auch jedes andere Näherungsverfahren, praktisch nicht Frage, vgl S 179 u S 193

fahrens eine verbesserte Flughöhe und Neigung und damit schließlich auf eine verbesserte Standortsprojektion. Da die horizontale Richtung nach der hauptpunktnahen Bildpunkt (Mittelstrahl) durch eine fehlerhafte Verkantung nur wenig beeinflusst wird und bei veränderter Neigung der Aufnahme der Standortsprojektion im wesentlichen auf diesem Mittelstrahl wandert, ergibt sich die richtige Verkantung des Meßbildes durch Drehen desselben, bis der nach der Hauptvertikalen liegende vierte Bildpunkt unter demselben Horizontalwinkel gegen den Mittelstrahl erscheint, der von den entsprechenden Richtungen der Karte eingeschlossen wird.

b) Graphisches (Pyramiden-) Verfahren. Bei dem eben behandelten Verfahren sind aus praktischen Gründen — zur rascheren Erzielung des Ergebnisses — vier Festpunkte verwendet worden. Theoretisch genügen bei (wie immer vorausgesetzt wird) gegebener innerer Orientierung der Aufnahme die bekannten, auf dem Meßbild erkennbaren Punkte des Objekts (Festpunkte); die Ermittlung der äußeren Orientierung.<sup>1</sup> Bezeichnet man das durch die Bildstrahl

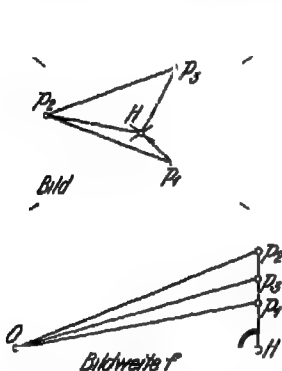


Abb 205 Ermittlung der Kanten der Bildpyramide

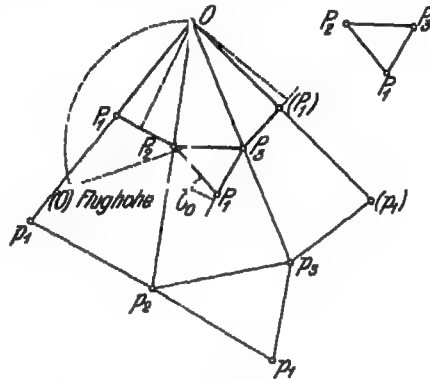


Abb 206 Rekonstruktion der Festpunktpyramide und deren Höhe

zwischen diesen drei Bildpunkten und dem bildseitigen Objektivhauptpunkt dargestellte, in seinen Elementen (indirekt) gegebene Dreikant als „Bildpyramide“, so läßt sich die vorliegende Aufgabe wie folgt formulieren: Ein durch Bildpyramide gegebenes Dreikant ist durch eine Ebene (Festpunktebene) zu schneiden, daß das Schnittdreieck dem Dreieck der gegebenen Objektpunkte (Festpunktdreieck) kongruent ist.<sup>2</sup> Die Lösung dieser Aufgabe wurde angedeutet von FINSTERWALDER,<sup>3</sup> völlig durchgeführt wurde sie von KUTTA,<sup>4</sup> HUGERSHOFF<sup>5</sup> und LÜSCHER.<sup>6</sup> Man denkt sich vorerst die Bildpyramide

<sup>1</sup> S. FINSTERWALDER, Geometrie Grundlagen usw., S. 26, k. WILHELM, Österr. Verm. 13, 1915, S. 140.

<sup>2</sup> Näheres über den Charakter dieser Aufgabe (Mehrdeutigkeit, „gefährlich Ort“) s. S. 172.

<sup>3</sup> S. FINSTERWALDER, Geometrie Grundlagen usw., 1897, S. 20, vgl. auch SCHNEMPFLUG, Int. Arch. f. Photogram. 2, 1900, S. 34 und O. KOERNER, A. Rundsch. 2, 1920, S. 149.

<sup>4</sup> W. KUTTA, Ballonphotogrammetrie in MOEDERBECKES Taschenb. f. Flugzeug- u. Luftfahrwesen, 1. Aufl., Berlin 1904.

<sup>5</sup> R. HUGERSHOFF und H. CRANZ, Grundlagen d. Photogrammetrie aus I. fahrzeugen, Stuttgart 1910.

<sup>6</sup> H. LÜSCHER, Photogrammetrie Leipzig und Berlin 1920.

er Seitenkante und der beiden anstoßenden Grundkanten aufgeschnitten und Mantelflächen in die Ebene der drei Bildpunkte ausgebreitet. Zu dieser Entwicklung sind zunächst die drei Seitenkanten  $Op_1$ ,  $Op_2$  und  $Op_3$  (Abb 205) zur Benutzung der Bildpunktabstände vom Bildhauptpunkt  $H$  und der zweiten  $f$  zu konstruieren. Aus den Seitenkanten und den im Bilde selbst unmittelbar gegebenen gegenseitigen Abständen der Bildpunkte findet sich ohne weiteres die Abwicklung der Bildpyramide  $Op_1p_2p_3(p_1)$  (Abb 206). Die Konstruktion erfolgt zweckmäßig in natürlicher Größe. Die Seitenkanten der Bildpunktpyramide und damit die Spur  $P_1P_2P_3(P_1)$  der Festpunktsebene in den Seitenflächen der Bildpyramide lassen sich durch Nähерungsverfahren finden, etwa in der Weise, daß man die Kantenlänge  $Op_1$  beliebig annimmt, vom Punkte  $P_1$  aus — unter Verwendung eines dreispitzigen Zirkels oder eines Papierstreifens (FESTMEWALDER) — durch Bogenschlag mit einem beliebigen Konstruktionsmaßstab dargestellten Festpunktentfernungen  $P_1P_2$ ,  $P_1P_3$ ,  $P_2(P_1)$  zum Punkte  $(P_1)$  gelangt und das Verfahren solange wiederholt, bis  $O(P_1)$  gleich ist.

Eine besonders zweckmäßige Abänderung des Annäherungsverfahrens ist von K. FUCHS<sup>1</sup> (Abb 207) angegeben. Man trägt hierzu etwa auf der Kante  $Op_3$  eine beliebige gleichformige Skala auf, von deren einzelnen durchgehend bezifferten Punkten aus man mittels Bogenschlages mit den entsprechenden Seiten des Festpunktdreiecks weitere Skalen mit entsprechender Bezifferung auf den Kanten  $O(P_1)$  und  $Op_2$  malt. Die Skalenpunkte der letzteren Teilung werden zur Gewinnung einer weiteren Skala nach dem gleichen Verfahren auf der Kante  $Op_1$  benutzt. Mit Hilfe eines in  $O$  eingesetzten Zirkels sucht man dann diejenigen beiden Punkte auf den beiden äußeren Strahlen, denen dieselbe Skalenbezifferung kommt. Diese Punkte, zusammen mit den ebenso bezifferten Punkten der beiden inneren Strahlen, ergeben die Spur des Festpunktdreiecks. Zweifel an der allein in Frage kommende Lösung der an sich, wie schon erwähnt, unbedeutigen Aufgabe (die zur Skalenherstellung verwendeten Bogen schneiden ja jede Pyramidenkante im allgemeinen in jeweils zwei Punkten) entfallen bei Schrägaufnahmen, für die das Verfahren allein geeignet ist, im allgemeinen nicht, da ja das Bild die längste und kürzeste Kante meist unmittelbar erkennen läßt.

Die Rekonstruktion der eigentlichen Aufnahmedaten erfolgt nun nach bestimmten Regeln der darstellenden Geometrie. Abb 206 zeigt die Ermittlung des Standorts und der Flughöhe, zunächst unter der vereinfachenden Annahme, daß die Festpunkte gleich hoch gelegen sind, die Festpunktebene der Kartenebene also parallel ist. Der Standort  $O_0$  ergibt sich dann mit Kontrolle aus den Abständen der drei zu den Festpunktentfernungen (Grundkanten) winkelrechten (orthogonalen) Ebenen durch das Aufnahmefotometer  $OO_0$ . Die Flughöhe (über der Fest-

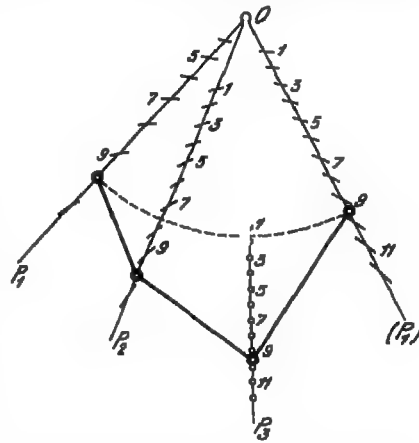


Abb 207 Ermittlung der Kanten der Festpunktpyramide nach K. FUCHS

<sup>1</sup> K. FUCHS, ZS f. Verm. 35, 1906, B. 425

punktebene) selbst findet sich durch Umklappen einer dieser Vertikalebene in die Zeichenfläche Abb 208a zeigt die Übertragung des Bildhauptpunktes  $H$  in die Festpunktebene, d. h. also die Konstruktion des Durchstoßpunktes  $H_*$

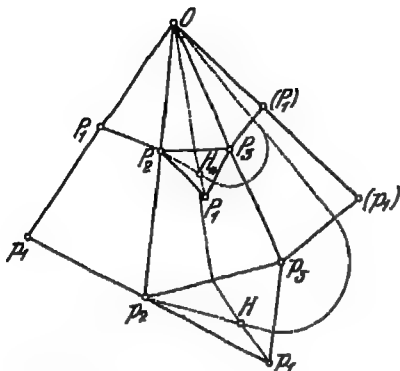


Abb 208a Übertragung des Bildhauptpunktes in die Festpunktebene

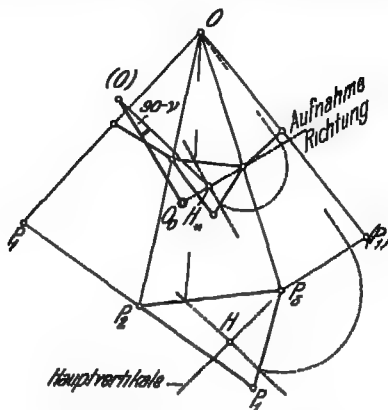


Abb 208b Konstruktion der Neigung, Aufnahmerichtung und Vorkantung

der Kammerachse durch diese Ebene Die Übertragung geschieht mit Hilfe der Spuren zweier durch die Kammerachse und je eine der Bildpyramidenkanten gelegten Hilfsebenen Die Verbindungslinie von  $O_0$  und  $H_*$  (Abb 208b) ergibt

dann die Aufnahmerichtung, also die Spur der Hauptvertikalebene in der Kartenebene Nach der Umklappung dieser Hauptvertikalebene findet sich im Dreieck  $OO_0H_*$  als Winkel zwischen Flughöhe  $OO_0$  und Kammerachse  $OH_*$  die Nadirdistanz bzw das Komplement des Neigungswinkels dieser Achse Die Winkelrechte zur Spur  $O_0H_*$  der Hauptvertikalebene entspricht der Spur der Ebene durch die Haupthorizontalen (s S 164) Die aus der Abb 208b leicht ersichtliche Rekonstruktion der Spuren der gleichen Ebenen in der Bildebene ergibt hier die Haupthorizontale und die Hauptvertikale, deren Winkel mit der (in der Figur nicht angegebenen) Bildmarkenverbindungsline der Vorkantung der Aufnahme entspricht

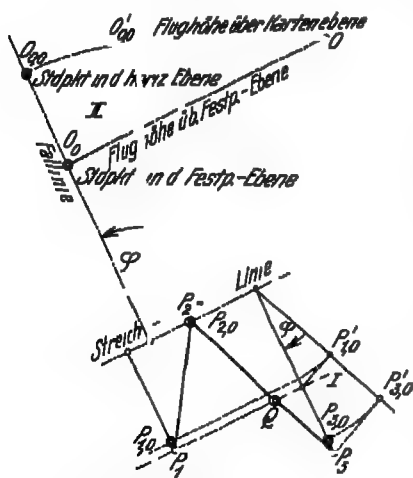


Abb 209 Konstruktion der Standortkoordinaten bei geneigter Festpunktebene

Für den allgemeinen Fall, daß die Festpunktebene beliebig geneigt ist, sei hier nur die Rekonstruktion des Standorts

projektion und der Flughöhe beschrieben<sup>1</sup> Auch beim allgemeinen Fall wird zunächst die Standortsprojektion  $O_0$  auf die Festpunktebene und die Flug

<sup>1</sup> Die Weiterführung des Verfahrens zur Ermittlung der übrigen Orientierungselemente ist so einfach, daß eine eingehende Schilderung sich hier erübrigt Für die Praxis ist es außerdem zweckmäßiger, diese Elemente nicht graphisch, sondern optisch mechanisch mit Hilfe des Bildmeßtheodolits zu bestimmen, nachdem aus Flughöhe und Kantenlängen die Neigungswinkel der Kanten berechnet wurden, s S 124

he über dieser (mit der Zeichenfläche zusammenfallenden) Ebene nach n in Abb 206 dargestellten Verfahren konstruiert. Dann projiziert man ter Benutzung von Seitenrissen sowohl den Standpunkt als auch die stpunkte auf die (zur Zeichenfläche geneigte) wagrechte Ebene durch 1 am tiefsten gelegenen der drei Festpunkte und dreht diese wagrechte ene in die Zeichenebene. Diese Drehung erfolgt um die Schnittgerade reichlinie) von Horizontal- und Festpunktebene. Die Seitenrißebenen hen winkelrecht zur Streichlinie, ihre Spuren sind also „Falllinien“. Ein ispiel für diese Konstruktion ist in Abb 209 wiedergegeben, in der  $P_2P_3$  das (geneigte) Festpunktdreieck und  $O_0$  die nach dem in Abb 206 gegebenen Verfahren gefundene Projektion des Standortes auf die Festpunkt- ene sei. Der Punkt  $P_1$  soll 60 m, der Punkt  $P_3$  100 m über  $P_2$  liegen. Eine roh  $P_1$  gelegte Horizontallinie wird also die Seite  $P_2P_3$  des Festpunktdreiecks einem Punkte  $Q$  schneiden, für den gilt

$$P_2Q : P_2P_3 = 60 : 100$$

Eine Parallele zu  $P_1Q$  durch  $P_2$  gibt die erwähnte Schnittgerade von Horizontal- und Zeichen- bzw. Festpunktebene. Der Winkel  $\varphi$  zwischen beiden enen findet sich aus dem Seitenriß  $I$  durch den Festpunkt  $P_3$ . Durch An- gen dieses Winkels an die Falllinie durch  $O_0$  ergibt sich der Seitenriß  $II$ , in 1 man die nach dem früher geschilderten Verfahren gefundene Flughöhe  $OO_0$  er der Festpunktebene einzeichnet. Das von  $O$  auf die im Seitenriß  $II$  ent- tenen Spur der Horizontalebene gefällte Lot  $OO'_{0,0}$  ist die gesuchte Flughöhe er dieser Ebene. Durch Drehung der Horizontalebene um die durch  $P_2$  gezogene reichlinie gelangt  $O'_{0,0}$  in die Lage  $O_{0,0}$ . Mit Hilfe des Seitenrisses  $I$  werden n die Grundrißprojektionen  $P'_{1,0}$  und  $P'_{3,0}$  der Festpunkte  $P_1$  und  $P_3$  eben- ls in die Zeichenebene gedreht, so daß damit die gegenseitige Lage der Grund- projektion von Standort und Festpunkten bestimmt ist.

c) Rechnerisches räumliches Rückwärtseinschneiden mit Win- ln. Die in der Literatur sehr oft behandelte, heute praktisch fast bedeutungs- e Methode<sup>1</sup> schließt sich unmittelbar an das eben geschilderte Pyramiden- fahren an. Sie geht wie dieses von den (indirekt) gegebenen Flächenwinkeln r Bild- bzw. Festpunktpyramide (Positionswinkeln) aus und gliedert sich ndsatzlich in zwei getrennte Arbeitsgänge. Diese sind im allgemeinen <sup>2</sup> Er- tteilung der Standortkoordinaten und Ermittlung der Neigung, Verkantung d. Aufnahme- richtung.

Die Positionswinkel werden entweder aus den Bildpunktkoordinaten und r Bildweite<sup>3</sup> oder aus den bei beliebiger Neigung des Meßbildes im Bildmeß- odolit beobachteten Horizontalrichtungen und Neigungswinkeln der Bild- nktstrahlen (mit Hilfe des sphärischen Cosinussatzes) berechnet<sup>4</sup>. Die itionswinkel lassen sich im Bildmeßtheodolit aber auch unmittelbar beob- hten, wenn man das Meßbild so verkantet, daß die jeweils in Frage kommenden iden Bildpunkte in der Horizontalebene oder in einer Vertikalebene liegen.

<sup>1</sup> Vgl. hierzu auch O. v. GRUBER, ZS f. Verm. 53, 1924, S. 281.

<sup>2</sup> Eine Ausnahme bildet ein von R. HUGERSHOFF, Int. Arch. f. Photogramm. 6, 23, S. 90, angegebenes Verfahren, bei dem (auf Grund der vorher berechneten untenläugen) Neigung, Verkantung und Höhe des Standortes und dann (durch ebenes rückwärtseinschneiden) die Lagekoordinaten desselben gefunden werden.

<sup>3</sup> Mit Hilfe der einfachen, geometrischen bzw. trigonometrischen Beziehungen, sich an Hand der Abb. 205 und 206 ohne Schwierigkeit ableiten lassen, vgl. z. B. HUGERSHOFF und CRANZ, Grundlagen usw., S. 47.

<sup>4</sup> R. HUGERSHOFF, Int. Arch. f. Photogramm. 6, 1923, S. 90.



a) *Ermittlung der Standortskordinaten* 1 Indirektes Verfahren  
Verfahren besteht darin, daß zunächst die Kanten der Festpunktpyramide und aus diesen erst die Raumkoordinaten des Standpunktes berechnet werden. Derartige Kantenberechnungsverfahren wurden ebenfalls sehr zu angegeben, die zweckmäßigsten dürften die Verfahren von S. FINSTERWALDER und E. LIBITZKY bzw. A. HORNOCH sein. Da ihnen allen heute noch eine praktische Bedeutung zukommt, so mag eine einfache Aufzählung

S. FINSTERWALDER<sup>1</sup> berechnet die Korrekturen zu angenommenen Näherungswerten mit Hilfe von logarithmischen Differenzen. K. FUCHS<sup>2</sup> beschränkt sich auf eine rein algebraische Lösung ohne Benutzung von Näherungswerten. K. FÖRG<sup>3</sup> gibt ein algebraisch-analytisches Verfahren mit Benutzung von logarithmischen Differenzen. Er diskutiert dabei die acht theoretisch möglichen Lösungen, daß nur die positiven Wurzeln Lösungen ergeben, die den vorgeschriebenen Positionswinkeln entsprechen und macht eingehende Ausführungen zu S. FINSTERWALDER (vgl. S. FINSTERWALDER, Geometrie Grundlagen S. 106). S. FINSTERWALDER und SCHULZE<sup>4</sup>, Das Rückwärtseinschneiden im Raum, Bericht der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München 1908, S. 597) gegebenenfalls die Lage des Standpunktes „gefährlichen Zylinders“. Dieser gefährliche ist der Kreiszylinder, der durch die drei Festpunkte geht und zu ihrer Winkelrecht steht. P. WERKMEISTER<sup>5</sup> benutzt einmal eine Reihenentwicklung nach TAYLOR und dann ein graphisch-numerisches Verfahren, bei dem Durchdringungskurven von Kreiswulsten konstruiert. A. KLINGATSCH<sup>6</sup> wendet ebenfalls ein graphisch-numerisches Verfahren an. O. EGGERT<sup>7</sup> verwendet ein kombiniertes trigonometrisch-algebraisches Verfahren. F. I. MÜLLER<sup>8</sup> sich eng an die von FÖRG gegebene Lösung an. FR. SCHULZE<sup>9</sup> findet Näherungswerte der Kantenlängen nach dem schon von S. FINSTERWALDER vorgeschriebenen Verfahren. Die Korrekturen werden in ähnlicher Weise wie bei WERKMEISTER gewonnen. E. LIBITZKY<sup>10</sup> und A. HORNOCH<sup>11</sup> veröffentlichten fast gleichzeitig zwei Verfahren, bei dem mit Vorteil die logarithmischen Differenzen zur Ermittlung der Korrekturen der Flächenwinkel an den Grundkanten der Pyramide benutzten. Ein Koordinatenberechnungsverfahren mit der Kenntnis der Kantenlängen der Festpunktpyramide als Voraussetzung, hat zuerst K. FÖRG<sup>12</sup> erfolgreich dargestellt (Berechnung des Fußpunktes, der Länge und der Richtungskosinus der Tetraederhöhe, aus welchen Werten leicht die Raumkoordinaten des Standortes folgen). R. HUGERSHOFF<sup>13</sup> berechnet die Korrekturen für

<sup>1</sup> Geometrie Grundlagen d. Photogrammetrie, 1897. Die Methode ist ausführlicher dargestellt in HUGERSHOFF und CRANZ, Grundlagen usw.

<sup>2</sup> K. FUCHS, ZS f. Verm. 35, 1906, S. 425.

<sup>3</sup> K. FÖRG, Die Bestimmung des Standpunktes und der äußeren Orientierungselemente, Nürnberg 1909.

<sup>4</sup> P. WERKMEISTER, Int. Arch. f. Photogramm. 5, 1915, S. 42.

<sup>5</sup> A. KLINGATSCH, Int. Arch. f. Photogramm. 5, 1915, S. 105.

<sup>6</sup> O. EGGERT, ZS f. Verm. 54, 1925, S. 203.

<sup>7</sup> F. I. MÜLLER, Allg. Verm.-Nachr. 37, 1925, S. 249ff. Die Bezeichnung ist hier insofern irreführend, als selbstverständlich auch die von Näherung ausgehenden Methoden die erforderlichen Korrekturen mit jeder beliebigen Genauigkeit bestimmen lassen.

<sup>8</sup> FR. SCHULZE, Bildmess. u. Luftbildwes. 2, 1927, S. 69ff.

<sup>9</sup> E. LIBITZKY, ZS f. Verm. 57, 1928, S. 369ff.

<sup>10</sup> A. HORNOCH, Allg. Verm.-Nachr. 40, 1928.

<sup>11</sup> Vgl. Anm. 3 auf dieser Seite.

<sup>12</sup> HUGERSHOFF und CRANZ, Grundlagen d. Photogramm. u. Luftfahrzeuge.

gswerte der Raumkoordinaten mit Hilfe einer Reihenentwicklung O EGGER<sup>1</sup> zeichnet sphärisch-trigonometrisch Richtung und Neigungswinkel einer Kante, also die Polarkoordinaten und aus ihnen die rechtwinkligen Koordinaten

Standortes F I MÜLLER<sup>2</sup> gibt im wesentlichen eine Wiederholung der gleichen Methode Fz SCHULZE<sup>3</sup> löst die Aufgabe analytisch-geometrisch sphärisch-trigonometrisch mit Hilfe einer besonderen Projektionsebene parallel zur Bildebene E LUBITZKY<sup>4</sup> findet die Raumkoordinaten aus den Neigungscosinus einer Pyramidenkante, während A HORNOCH<sup>5</sup> ähnlich wie MERT verfährt, dabei aber als Bezugsrichtung nicht die Vertikale, sondern Streichlinie des Festpunktdreiecks benutzt

2 Direktes Verfahren Bei diesem Verfahren werden ohne vorherige Berechnung der Pyramidenkanten die Raumkoordinaten des Standpunktes mittelbar aus den Positionswinkeln gefunden solches Verfahren wurde von R HUGERS<sup>6</sup> angegeben Er geht von Näherungswerten der Raumkoordinaten  $x_0, y_0, z_0$  des Standpunktes aus und berechnet aus diesen und ihren drei bekannten) Korrekturen  $\Delta\xi, \Delta\eta, \Delta\zeta$  zusammen den bekannten Koordinaten  $xyz$  der Festpunkte  $P_1, P_2, P_3$  zunächst die Kantenlängen  $l_1, l_2, l_3$

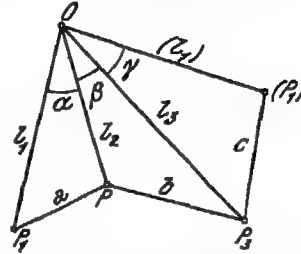


Abb 210 Rückwärtseinschnitten mit Winkeln

$$\left. \begin{aligned} l_1^2 &= (\xi + \Delta\xi - x_1)^2 + (\eta + \Delta\eta - y_1)^2 + (\zeta + \Delta\zeta - z_1)^2 \\ l_2^2 &= (\xi + \Delta\xi - x_2)^2 + (\eta + \Delta\eta - y_2)^2 + (\zeta + \Delta\zeta - z_2)^2 \\ l_3^2 &= (\xi + \Delta\xi - x_3)^2 + (\eta + \Delta\eta - y_3)^2 + (\zeta + \Delta\zeta - z_3)^2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

zeichnet man die Pyramidengrundkanten (Festpunktentfernungen)  $P_1P_2$  mit  $a$ ,  $P_2P_3$  mit  $b$  und  $P_3P_1$  mit  $c$ , die entsprechenden Flächenwinkel (Positionswinkel) der Pyramide mit  $\alpha, \beta, \gamma$ , so ergeben sich die folgenden Beziehungen (Abb 210)

$$\left. \begin{aligned} l_1^2 + l_2^2 - 2 l_1 l_2 \cos \alpha &= a^2 \\ l_2^2 + l_3^2 - 2 l_2 l_3 \cos \beta &= b^2 \\ l_3^2 + l_1^2 - 2 l_3 l_1 \cos \gamma &= c^2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Bei wiederholter Anwendung der TAYLORSchen Entwicklung erhält man (1) sowohl die Glieder  $l_1^2, l_2^2, l_3^2$  als auch die Glieder  $2 l_1 l_2 \cos \alpha, 2 l_2 l_3 \cos \beta, 2 l_3 l_1 \cos \gamma$  als lineare Funktionen der Korrekturen  $\Delta\xi, \Delta\eta, \Delta\zeta$ . Setzt man diese Funktionen in (2) ein, so ergeben sich drei lineare Bestimmungsgleichungen für unbekannten Korrekturen. Weitere Einzelheiten sind aus der angeführten Tabelle zu ersehen

$\beta$ ) Ermittlung der Neigung, Kantung und Aufnahmerichtung<sup>7</sup> Nachdem

<sup>1</sup> Vgl S 172, Anm 6

<sup>2</sup> Vgl S 172, Anm 7

<sup>3</sup> Vgl S 172, Anm 8

<sup>4</sup> Vgl S 172, Anm 9

<sup>5</sup> Vgl S 172, Anm 10

<sup>6</sup> Vgl S 172, Anm 12

<sup>7</sup> An dieser Stelle sei noch auf ein von F v DALWIGK, Sitzungsber d bayr Akad med Wiss, München 1919, angegebenes Verfahren hingewiesen, das nach Ermittlung Standortkoordinaten gestattet, ohne Kenntnis der Neigung und Verkantung der Aufnahme die Richtungen nach beliebigen abgebildeten Objektpunkten zu konstruieren. Das Verfahren ist durch Einführung des Bildmeßtheodolits praktisch überholt.

bereits K. FÖRQ<sup>1</sup> an Hand einfacher geometrischer Betrachtungen die angegebenen Elemente der äußeren Orientierung gefunden hatte, haben dann R. HUGERSHOFF,<sup>2</sup> P. WERKMEISTER<sup>3</sup> und O. EGGERT<sup>4</sup> mit Hilfe von sphärisch trigonometrischen Entwicklungen, teilweise unter Benutzung von Näherungswerten der gesuchten Größen, die gleiche Aufgabe gelöst. Ein von F. I. MÜLLER<sup>5</sup> beschriebenes Verfahren zeigt große Ähnlichkeit mit der Förgeschen Methode. Eine besonders schöne Lösung fand E. LIBITZKY,<sup>6</sup> indem er zunächst die Richtungs-cosinus der optischen Achse der Kammer bestimmte.

Allen diesen rechnerischen Methoden praktisch vorzuziehen ist das von R. HUGERSHOFF<sup>7</sup> eingeführte optisch-mechanische Verfahren, bei dem das Meßbild im Bildmeßtheodolit so lange geneigt und verkantet wird, bis die drei Bildpunkte unter den aus den Standortkoordinaten berechneten Tiefenwinkeln erscheinen. Bei genügender Beachtung des Umstandes, daß bei nahe der Hauptvertikalen liegenden Bildpunkten ein Kantungsfehler wenig Einfluß auf die Neigung der Bildstrahlen hat, kommt man sehr rasch zu den gesuchten Orientierungselementen.

d) Rechnerisches räumliches Rückwärtseinschneiden nach Richtungen. Im Gegensatz zum Rückwärtseinschneiden nach Winkeln gestattet das Rückwärtseinschneiden nach Richtungen, wenigstens in seiner zweckmäßigsten Form, die unmittelbare und gleichzeitige Bestimmung sämtlicher sechs Orientierungselemente. Das Richtungsverfahren ist also aus diesem Grunde dem Winkelverfahren im allgemeinen vorzuziehen. Außerdem besteht die Möglichkeit, das Rückwärtseinschneiden nach Richtungen, worauf zuerst O. v. GRUBER<sup>8</sup> hinwies, grundsätzlich sowohl für Schrägaufnahmen als auch für Senkrechtaufnahmen anzuwenden.<sup>9</sup> In der phototopographischen Praxis hat sich das rechnerische Richtungsverfahren allerdings ebensowenig eingebürgert, wie sich das Winkelverfahren darin behaupten konnte, beide Verfahren sind hier durch die der Einzelorientierung überlegene, für Senkrecht- und Steilaufnahmen besonders wichtige gemeinsame Orientierung zusammengehöriger Bildpaare verdrängt worden, die in den früher beschriebenen Auswertegeräten auf optisch-mechanischem Wege vorgenommen wird (vgl. S. 183).

Mit Rücksicht darauf, daß das Richtungsverfahren auch die für die topographische Praxis zwar unwirtschaftliche, theoretisch aber interessante rechnerische Durchführung dieser paarweisen Bildorientierung gestattet,<sup>10</sup> soll es

<sup>1</sup> Vgl. S. 172, Anm. 3.

<sup>2</sup> R. HUGERSHOFF und H. CRANZ, *Grundlag d. Photogramm usw.*

<sup>3</sup> P. WERKMEISTER, *Öst. ZS f. Verm.* 20, 1922, S. 16 ff.

<sup>4</sup> O. EGGERT, *ZS f. Verm.* 54, 1925, S. 203.

<sup>5</sup> Vgl. S. 172, Anm. 7.

<sup>6</sup> Vgl. S. 172, Anm. 9.

<sup>7</sup> R. HUGERSHOFF und H. CRANZ, *Grundlag d. Photogramm usw.*, S. 67.

<sup>8</sup> O. v. GRUBER, *ZS f. Verm.* 53, 1924, S. 288, und: Einfache und Doppelpunkteinschaltung im Raum, Jena 1924. Zur Verwendung bei Senkrechtaufnahmen ist einfach eine Koordinatenvertauschung vorzunehmen, wobei die aus Seiten- und Höhenachsen des Kartierungsgärates gebildete Ebene als Horizontalebene, die Abstandsachse aber als Höhenachse angenommen wird, während zugleich die Verkantung des Meßbildes zum Winkel seiner Markenlinien gegen die Schnittlinie des Meßbildes mit der aus Seiten- und Abstandsachse gebildeten Ebene wird. Die Verkantung hat hier also den Charakter einer azimutalen Orientierung.

<sup>9</sup> Diese Möglichkeit kann freilich praktisch zur Orientierung von Einzelaufnahmen im allgemeinen nicht ausgenutzt werden, da sich bei Senkrechtaufnahmen der Standort meist nahe dem gefährlichen Zylinder (S. 172) befindet.

<sup>10</sup> O. v. GRUBER, *ZS f. Verm.* 53, 1924, S. 288.

Hand eines Beispiels ausführlicher dargestellt werden. Das Verfahren geht von Näherungswerten aus und zwar im allgemeinen für sämtliche der sechs Orientierungselemente, aus den drei Bildern der für die Orientierung ausreichenden drei Festpunkte werden dann gewöhnlich die drei horizontalen und drei vertikalen Richtungen nach diesen Punkten, entweder mittels der zu messenden Bildpunktkoordinaten oder unmittelbar durch Beobachtung im Bildmeßtheodolit, bestimmt. Jede dieser Richtungsmessungen gestattet in Verbindung mit den ebenen Festpunktkoordinaten und den sechs mit ihren Korrekturen versehenen genäherten Orientierungselementen die Aufstellung von sechs Bestimmungsgleichungen<sup>1</sup> für diese Korrekturen. Die verschiedenen veröffentlichten Verfahren unterscheiden sich durch die Art der Richtungsgewinnung und der Aufstellung der Bestimmungsgleichungen.<sup>2</sup> Der Begründer der Methode FR PFIFFER<sup>3</sup> verwendet die aus den Bildpunktkoordinaten bestimmten Horizontalrichtungen und Aufrißprojektionen der Vertikalwinkel, während O v GRUBER direkte Beziehungen zwischen Festpunkt- und Bildpunktkoordinaten stellt.<sup>4</sup> A SCHLOZER<sup>5</sup> führte als erster<sup>6</sup> das Verfahren mit unmittelbar im Bildmeßtheodolit beobachteten Richtungen vollständig durch.

Eigene Wege geht H MAROHAND<sup>7</sup> auch insofern, als er die Richtungen der Strahlen gegen die Kammerachse mißt, damit wird das Verfahren allerdings sehr übersichtlich und es entfällt der Vorteil der gleichzeitigen Bestimmung der sechs Orientierungselemente.

Neben seinem eben erwähnten Richtungsverfahren mit den Bildpunktkoordinaten als Ausgangswerten hat O v GRUBER gleichzeitig<sup>8</sup> eine Methode des Rückwärtsseinschneidens nach im Bildmeßtheodolit gemessenen Richtungen angegeben, die sich von der SCHLOZERSchen Methode durch den Aufbau der Bestimmungsgleichungen vorteilhaft unterscheidet und die als zweckmäßigstes Richtungsverfahren bezeichnet werden muß (Methode der Punktprojektionen). O v GRUBER berechnet aus den gegebenen Näherungswerten der Bildpunktkoordinaten mitsamt ihren (zunächst unbekannten) Korrekturen,

<sup>1</sup> Einfaches räumliches Rückwärtsseinschneiden, bei Benutzung von mehr als  $(n)$  Festpunkten ergeben sich (hier)  $2n$  „Fehlerrgleichungen“, deren Weiterentwicklung nach der Methode der kleinsten Quadrate zu „ausgeglichenen“ Orientierungselementen und deren mittleren Fehlern führt. Diesem „mehrfachen“ Rückwärtsseinschneiden ist in der Literatur wiederholt eine größere Bedeutung beigelegt worden als ihm in der Praxis zukommt. Beispiele für das mehrfache Rückwärtsseinschneiden geben S FINSTERWALDER und W SCHNEUFELLE, Sitzungsber d bayer d d Wiss, München 1903, R HUGERSHOFF und H CRANZ, Grundlagen usw., Stuttgart 1919, und A SCHLOZER, ZS f Verm 53, 1924, S 1 ff. An dieser Stelle seien auch die fehlertheoretischen Untersuchungen von R HUGERSHOFF (a a O) P SAMTEL und N SCHOLLMAYER, ZS f Verm 50, 1921, S 97, über den Rückwärtsseinschnitt erwähnt werden.

<sup>2</sup> Vgl hierzu O v GRUBER, ZS f Verm 53, 1924, S 281.

<sup>3</sup> FR PFIFFER, Sitzungsber d Heidelberg Akad 1919, 15 Abh.

<sup>4</sup> O v GRUBER, Einfache und Doppelpunkteinrichtung im Raum. Jena 1924.

<sup>5</sup> A SCHLOZER, ZS f Verm 53, 1924, S 1 und S 98, vgl hierzu auch ebenda 36.

<sup>6</sup> Bereits vorher (1919 bzw 1921) hatten C PULFRICH und T FISCHER einen auch zu einem solchen Verfahren veröffentlicht. Die darin enthaltenen Fehler sind richtig gestellt von O EGGERT (Rückwärtsseinschneiden im Raum, ZS f n 49 1920). Einen Ausbau des FISCHERSchen Versuches schlug FR MANEK vor Arch f Photogramm 6, 1923, S 130.

<sup>7</sup> H MAROHAND, Die Orientierung von Senkrechtaufnahmen i d Photogrammetrie, Stuttgart 1922.

<sup>8</sup> Vgl S 174, Anm 8.



Bezeichnet man die Koeffizienten der Abszissengleichung mit  $a' b' c'$ , die Ordinatengleichung mit  $a'' b'' c''$  und die entsprechenden Absolutglieder  $l'$  bzw.  $l''$ , so erhält man

$$\Delta x + a' \Delta z + b' \Delta \varrho + c' \Delta \tau + l' = 0 \quad (1'')$$

$$\Delta y + a'' \Delta z + b'' \Delta \varrho + c'' \Delta \tau + l'' = 0 \quad (2'')$$

Da sind sowohl  $\Delta \alpha$  als auch  $\Delta \tau$  abhängig von den unbekannten Korrekturen und  $\Delta \kappa$  einer angenommenen Neigung  $[\nu]$  bzw. Kantung  $[\kappa]$ , in genügender Näherung kann man setzen

$$\left. \begin{aligned} \Delta \alpha &= m \Delta \nu + n \Delta \kappa \\ \Delta \tau &= p \Delta \nu + q \Delta \kappa \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Die Verbindung von (3) mit (1'') und (2'') gibt zwei Gleichungen mit sechs bekannten, die also aus den für drei gegebene Punkte aufzustellenden sechs Gleichungen berechnet werden können. Die Koeffizienten  $m$  und  $n$  bzw.  $p$  und  $q$  sind natürlich Funktionen von  $\nu$ ,  $\alpha_i$  und  $\tau_i$ , sie abzuleiten<sup>1</sup> ist nicht nötig, da wir zur rechnerischen Ermittlung die unmittelbare Beobachtung im Bildmeßtheodolit vorziehen, mit dem wir ja doch die Richtungen  $[\alpha_i]$  und  $[\tau_i]$  beobachten. Werden nämlich die Korrekturen  $\Delta \nu$  und  $\Delta \kappa$  in Bogenminuten gedrückt, so sind  $m$  und  $n$  bzw.  $p$  und  $q$  die entsprechenden Änderungen der horizontalen Richtungen  $\alpha_i$  bzw. der vertikalen Richtungen  $\tau_i$  für eine Änderung Neigung und Verkantung um je eine Bogenminute.

Beispiel Gegebene Koordinaten in Metern

Festpkt	$x$	$y$	$z$
	$m$	$m$	$m$
1	— 80 858,5	— 47 374,5	+ 603,1
2	— 80 910,0	— 49 143,5	+ 640,1
3	— 78 577,0	— 49 323,5	+ 678,3

Angenommene Näherungswerte

$$\begin{aligned} [x_0] &= - 83 800 \text{ m} \\ [y_0] &= - 47 100 \text{ m} \\ [z_0] &= + 2 550 \text{ m} \\ [\varrho_0] &= 340^\circ \\ [\nu] &= 30^\circ \\ [\kappa] &= 0^\circ \end{aligned}$$

Die Beobachtungsergebnisse im Bildmeßtheodolit sind

Angenommene Kantung $[\kappa] = 0^\circ$		Einfluß einer Neigungsänderung von $1'$		Kantung $[\kappa] = +1^\circ$		Einfluß einer Kantungsänderung von $1'$	
Neigung $[\alpha] = 30^\circ$	Neigung $[\tau] = 31^\circ$			Neigung $[\alpha] = 31^\circ$			
$[\alpha_1]$ 14° 22', 6	14° 20', 0	$m = + 0', 057$		14° 30', 4	$n = + 0', 073$		
$[\tau_1]$ 33° 27', 2	34° 24', 0	$p = + 0', 95$		34° 11', 7	$q = - 0', 21$		
$[\alpha_2]$ — 15° 43', 2	— 15° 52', 0	$m = + 0', 15$		— 15° 54', 2	$n = + 0', 037$		
$[\tau_2]$ 28° 50', 9	29° 48', 7	$p = + 0', 96$		30° 02', 6	$q = + 0', 23$		
$[\alpha_3]$ — 3° 41', 4	— 3° 41', 0	$m = - 0', 007$		— 3° 52', 0	$n = + 0', 183$		
$[\tau_3]$ 18° 33', 2	19° 38', 9	$p = + 1', 012$		19° 38', 3	$q = + 0', 073$		

<sup>1</sup> Vgl. z. B. A. SCHLOTTER, a. a. O.

Mit diesen Werten ergeben sich zunächst folgende sechs Gleichungen

$$\left. \begin{array}{l} \Delta x + 1,51 \quad \Delta z + 274 \quad \Delta \varrho - 6060 \quad \Delta \nu + 1363 \quad \Delta \kappa - 9,2 = 0 \\ \Delta y - 0,14 \quad \Delta z + 2942 \quad \Delta \varrho + 735 \quad \Delta \nu + 89 \quad \Delta \kappa - 14,2 = 0 \\ \Delta x + 1,51 \quad \Delta z + 2044 \quad \Delta \varrho - 6258 \quad \Delta \nu - 1497 \quad \Delta \kappa - 75,1 = 0 \\ \Delta y - 1,07 \quad \Delta z + 2890 \quad \Delta \varrho + 5075 \quad \Delta \nu + 1219 \quad \Delta \kappa + 19,3 = 0 \\ \Delta x + 2,79 \quad \Delta z + 2224 \quad \Delta \varrho - 17538 \quad \Delta \nu - 857 \quad \Delta \kappa - 116,3 = 0 \\ \Delta y - 1,19 \quad \Delta z + 5223 \quad \Delta \varrho + 7425 \quad \Delta \nu + 1494 \quad \Delta \kappa - 17,1 = 0 \end{array} \right\} \quad ($$

Durch Elimination von  $\Delta x$  und  $\Delta y$  finden sich hieraus die vier Gleichung:

$$\left. \begin{array}{l} -1770 \quad \Delta \varrho + 198 \quad \Delta \nu + 2860 \quad \Delta \kappa + 65,9 = 0 \\ -1,28 \quad \Delta z - 1950 \quad \Delta \varrho + 11478 \quad \Delta \nu + 2220 \quad \Delta \kappa + 107,1 = 0 \\ + 0,93 \quad \Delta z + 52 \quad \Delta \varrho - 4340 \quad \Delta \nu - 1130 \quad \Delta \kappa - 33,5 = 0 \\ + 1,05 \quad \Delta z - 2281 \quad \Delta \varrho - 6690 \quad \Delta \nu - 1405 \quad \Delta \kappa + 2,9 = 0 \end{array} \right\} \quad ($$

deren Auflösung ergibt

$$\begin{aligned} \Delta z &= + 8,5 \\ \Delta \varrho &= + 0,020 \quad (= + 1^{\circ} 09') \\ \Delta \nu &= - 0,003 \quad (= - 0^{\circ} 10') \\ \Delta \kappa &= - 0,010 \quad (= - 0^{\circ} 34') \end{aligned}$$

Durch Einsetzen dieser Werte in zwei der Gleichungen des Systems (I) erhält man

$$\begin{aligned} \Delta x &= - 13,1 \text{ m} \\ \Delta y &= - 40,7 \text{ m} \end{aligned}$$

und schließlich die endgültigen<sup>1</sup> Werte der gesuchten Orientierungselemente

$$\begin{aligned} x_0 &= - 83800 - 13,1 &= - 83813,1 \text{ m} \\ y_0 &= - 47100 - 40,7 &= - 47140,7 \text{ m} \\ z_0 &= + 2550 + 8,5 &= + 2558,5 \text{ m} \\ \varrho_0 &= 340^{\circ} + 1^{\circ} 09' &= 341^{\circ} 09' \\ \nu &= 30^{\circ} - 0^{\circ} 10' &= 29^{\circ} 50' \\ \kappa &= 0^{\circ} - 0^{\circ} 34' &= - 0^{\circ} 34' \end{aligned}$$

e) Optisch-mechanische Orientierung in Auswertegeräten I  
Verfahren beruht im wesentlichen darauf, daß man die in Auswertegeräten mittelbar (Entzerrungsgeräte, Doppelprojektoren) oder mittelbar (mechanische Auswertegeräte) erzeugten orthogonalen Projektionen der gegebenen Punkte mit deren Kartenlage vergleicht und die Orientierung des Projektionsbzw. Bildhalters zur Projektionsebene systematisch so ändert, daß die auftretenden Lagedifferenzen entsprechender Punkte zum Verschwinden gebracht werden. Das zuerst bei der Bildentzerrung, und zwar von TH. SCHEMPFLUG angewandte Verfahren wurde von diesem als „Methode der optischen Koinkidenz“<sup>2</sup> bezeichnet. Ausführliche Darstellungen des speziell bei Entzerrungsgeräten zweckmäßigen Arbeitsganges zur Herbeiführung dieser Koinkidenzen gaben S. FINSTERWALDER<sup>3</sup> und O. v. GRUBER<sup>4, 5</sup>, der das Verfahren „Methode der Punktprojektionen“ nannte. O. v. GRUBER<sup>6</sup> und R. HUGERSHOFF<sup>7</sup> veröffent-

<sup>1</sup> Eine nochmalige Durchrechnung des Beispiels mit diesen Werten als Näherwerte ergibt keine wesentliche Änderung der Resultate.

<sup>2</sup> TH. SCHEMPFLUG, Die Herstellung von Karten und Plänen auf photographische Weise, V. 1907, u. a. a. O.

<sup>3</sup> S. FINSTERWALDER, Sitzungsber. d. Bayer. Akad. d. Wiss., München 1915, S.

<sup>4</sup> O. v. GRUBER, ZS. f. I. 42, 1922, S. 161.

<sup>5</sup> O. v. GRUBER, Int. Arch. f. Photogramm. 6, 1923, S. 112.

<sup>6</sup> Vgl. Anm. 5 auf dieser Seite.

<sup>7</sup> R. HUGERSHOFF, Int. Arch. f. Photogramm. 6, 1923, S. 80.





punktsfiguren nicht getrennt zeichnen und nachträglich proportional vergrößern oder verkleinern, sondern wird nach jeder Änderung der Haupt- bzw. Q-neigung des Projektionstisches die Figurenseite  $A_i B_i$  sogleich auf die vschriebene Größe bringen

### B. Paarweise Bildorientierung<sup>1</sup>

Es gibt auch hier rechnerische und optisch-mechanische Verfahren. Die le- ren sind den rechnerischen Verfahren, soweit diese nicht überhaupt praktisch brauchbar sind, vom wirtschaftlichen Standpunkt aus unbedingt überlegen, d- rascher zum Ziele führen und dabei eine völlig ausreichende Genauigkeit gewäl-

Eine Genauigkeitssteigerung durch vorhergehende, vielleicht sogar Anwendung der Ausgleichsrechnung vorgenommene Berechnung und nach hohe Einlegung der Meßbilder in ein Kartierungsgerät ist nicht möglich, da die berechneten Orientierungselemente im Kartierungsgerät nicht mit Si- cherheit wieder herstellen lassen

Bei beiden Verfahren kann die gegenseitige Orientierung und die abs- Orientierung (mit Bezug auf Horizont, Maßstab und gegebenenfalls Mori-

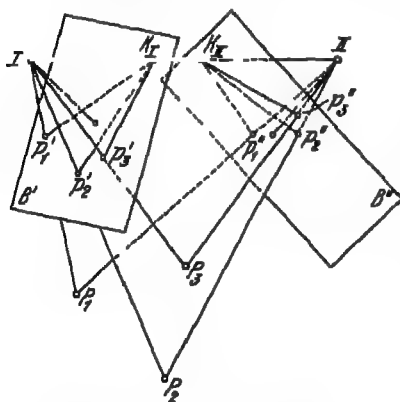


Abb 213 Kornenbenbüschel

entweder getrennt oder gemeinsam v- nommen werden. Die selbständige g- seitige Orientierung stützt sich aussc- hlich auf den Bildinhalt, macht also k- Gebrauch von den Abbildungen gege- Festpunkte,<sup>2</sup> die für die nachfolgend- solute Orientierung (ebenso wie für d- meinsame Durchführung von relative- absoluter Orientierung) natürlich nötig

46. Rechnerische Methoden. a) I- punktverfahren und seine E- zung durch die gnomonische- jektion.<sup>3</sup> Bei diesem Verfahren v- relative und absolute Orientierung- trennt vorgenommen. Denkt man- die beiden die gleichen Objekte dars- den Meßbilder  $B' B''$  von den Stan-

ten I und II aus (Abb 213) gleichzeitig gemacht, so schneiden si-

<sup>1</sup> O. v. GRUBER hat hierfür die Bezeichnung „Doppelpunktschnitt- Raum“ gewählt in Anlehnung an eine bekannte Aufgabe der Vermessungs- da in der Phototopographie die Standpunkte aber nur mittelbare Bedeutung- so erscheint die hier gebrauchte Bezeichnung zweckentsprechender

<sup>2</sup> Paarweise rechnerische Bildorientierungen dieser Art, aber mit vorausge- Kenntnis der Orientierung zum Meridian und zum Lot bzw. nur zu letzterem- angegeben S. FINSTERWALDER, Sitzungsber. d. bay. Akad. d. Wiss., München 1903 K. FUCHS, ZS. f. Verm. 34, 1905, S. 449, K. FUCHS, Int. Arch. f. Photogra- 1908, S. 107

Diese für die terrestrische Photogrammetrie unter Umständen wichtigen I- Orientierungen ergeben natürlich sogleich auch die Orientierung zum Horizont

<sup>3</sup> S. FINSTERWALDER, Abh. d. bay. Akad. d. Wiss., München 1903 SANDEN, Die Bestimmung der Keilpunkte i. d. Photogram., Göttingen H. RIESNER, Die Darstell. eines Objekts aus drei photogr. Aufnahmen usw., M. 1911, S. FINSTERWALDER, Int. Arch. f. Photogram. 6, 1923, S. 22, C. R. S. Über die gegenseit. Orient. v. Flugaufnahmen mittels gnomonischer Pro- Stuttgart 1928

erzeugenden Strahlen paarweise in den ihnen entsprechenden Objektkten  $P_1 P_2 P_3$ . Die durch jene Bildstrahlenpaare definierten Ebenen „erbenen“, vgl S 39 und Abb 50) enthalten außer dem betreffenden Gelpunkt die beiden Zentren der Perspektive, also die Standpunkte und damit h die Aufnahmebasis („Kernachse“). Die verlangerte Basis schneidet jede Ebene in den „Kernpunkten“  $K_I K_{II}$ . Kennt man diese, so sind auch die ren der Kernebenen in den Bildebenen (z B  $K_I p'_1 K_I p'_2$  und entehend  $K_{II} p''_1 K_{II} p''_2$ ) gegeben, aus denen sich mit Hilfe der bekannten Lage der perspektivischen Zentren zu den entsprechenden Bildebenen Winkel zwischen den einzelnen Kernebenen berechnen lassen. Jede Aufnahme ergibt also je ein Kernebenenbüschel, die beide wegen der notwendigen Übereinstimmung der entsprechenden Kernebenenwinkel auf beiden Standpunkten kongruent sind. Bringt man beide Büschel zur Deckung, so ist die relative Orientierung der beiden Aufnahmen hergestellt. Man findet dann die einzelnen Endpunkte durch Vorwärtsabschneiden in der dem betreffenden Gelandekt zukommenden Kernebene.

Eine direkte Bestimmung der Kernpunkte auf rechnerischem Wege ist praktisch nicht möglich. Man ist darum gezwungen, sich zunächst mit Hilfe Näherungswerten der Standortskordinaten (vgl S 167) Näherungswerte der Bildkordinaten der Kernpunkte zu verschaffen. Aus letzteren lassen sich in Verbindung mit ihren (vier) Korrekturen Näherungswerte für die Kernwinkel berechnen. Auf Grund der Bedingung, daß entsprechende Kernwinkel auf beiden Standpunkten gleich sein müssen, ergeben sich dann Gleichungen für die vier unbekannten Korrekturen der Kernlagen. Da mindestens vier solche Gleichungen erforderlich sind, wird die Orientierung von mindestens fünf Objektpunkten auf beiden Bildern nötig. Entsprechende Rechnungen sind außerordentlich umfangreich.

Die Gesamtheit aller vorwärts eingeschnittenen Punkte ergibt ein Modell des Objekts von zunächst unbekanntem Maßstab und unbekannter Orientierung zum Horizont bzw Meridian. Um diese fehlende absolute Orientierung herbeizuführen, ist das Modell außer einer Maßstabsänderung offenbar drei Drehungen um verschiedene Achsen und drei Verschiebungen in verschiedenen Richtungen unterziehen. Für diese sieben Arbeitsgänge genügt die Kenntnis der sechs unkoordinaten zweier Objektpunkte und der Höhe eines dritten Punktes. Die rechnerische Durchführung dieser „Haufenmethode“,<sup>1</sup> womöglich noch zur Benutzung von mehr als den vorgeschriebenen Festpunkten ist für die Praxis der topographischen Photogrammetrie eine ebensolche Unmöglichkeit, wie die rechnerische Durchführung der oben kurz geschilderten Relativ-Orientierung.

Die angegebene Methode der gegenseitigen Orientierung, die übrigens im wichtigsten Fall von (angenähert) in der gleichen Ebene liegenden Bildern verlangt, wird übersichtlicher und auch für diesen Spezialfall (aber selbstverständlich nur theoretisch) brauchbar, wenn man eine (im allgemeinen wagrechte) Ebene (Ebene des Gnomon) benutzt und die Durchstoßpunkte sowohl der ersten (Kernachse) als auch der Bildstrahlen durch jene Ebene betrachtet, nachher man zunächst das Strahlenbündel der zweiten Aufnahme parallel mit sich verschiebt und längs der Basis so verschoben hat, daß der zweite Standpunkt mit dem ersten (Spitze des Gnomon) zur Deckung kommt. Man nennt diese Durchstoßpunkte „gnomonische Projektionen“.

<sup>1</sup> Vgl hierzu auch S. FINSTERWALDER, Sitzungsber d. Bayer. Akad. d. Wiss., math. phys. Kl. 1915, S. 199 bis 209 und O. v. GRUBER, ZS. f. Verm. 53, 1924, S. 164.

In Abb 214 (oberer Teil) ist der Aufriß zweier Bildstrahlenbündel dargestellt, wie sie etwa aus zwei Stereoaufnahmen hervorgehen  $I'$  und  $II'$  sind die Aufrißprojektionen der beiden Standpunkte,  $m-n$  die Spur der Hiebene in der Aufrißebene  $N_*$  ist die gnomonische Projektion der Lotlinie (Gnomonfußpunkt) durch den Standpunkt  $I$  (bzw  $II$  nach seiner Verschiebung) also der Nadirpunkt beider Aufnahmen,  $K_*$  der „gnomonische Kernpunkt“  $A_{I*}, A_{II*}, B_{I*}, B_{II*}$  sind die gnomonischen Projektionen der Bildstrahlen nach den Objektpunkten  $AB$

Die Gesamtheit aller dieser gnomonisch projizierten Bildstrahlen eines Gegenstandes oder seines richtig orientierten Bildes stellt also ein Bild des Gegenstandes vom gleichen Standpunkt aus, auf eine wagrechte Ebene projiziert, dar, die erhaltene Punktgruppe entspricht somit ganz jener Punktgruppe, wie sie beim (winkeltreuen) Entzerrungsverfahren erhalten wird, mit  $IN_*$  (Länge des Gnomon) als Abstand des Projektionsobjekts von der Projektionsfläche. Da einander entsprechende Bildstrahlen Kernebene definieren, so stellen (die Bildstrahlen vom zweiten Standpunkt

sind ja nur parallel mit sich verschoben, also in ihrer Kernebene verblieben) die Verbindungslinien der Durchstoßpunkte entsprechender Bildstrahlen durch die Hilfebene die Spuren dieser Kernebenen in Hilfebene dar und alle diese Spuren müssen durch den „gnomonischen Kernpunkt“  $K_*$  gehen. Ist die Bedingung erfüllt, so haben die beiden Bildstrahlenbündel die richtige gegenseitige Orientierung,<sup>1</sup> so daß die Übereinstimmung der Modellpunkte wie nach dem Verfahren des Vorwärtschnittens erfolgen kann. Die Gesamtheit der so erhaltenen Modellpunkte ist dann nach dem oben angedeuteten Verfahren auf den vorgeschriebenen Maßstab zu bringen und gegen Horizont bzw Meridian zu orientieren. Das von CHR SCHMIDT angegebene Spiel beweist, daß auch diese Lösung der paarweisen Bildorientierung theoretischen Wert besitzt.

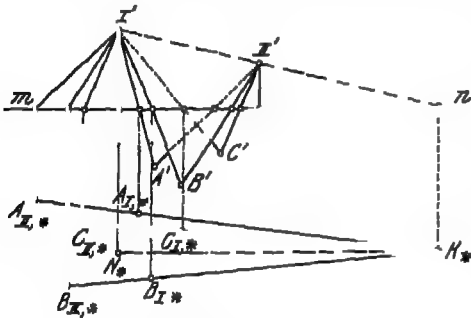


Abb 214 Gnomonische Projektion, Spezialfall (Stereoaufnahmen)

heit der so erhaltenen Modellpunkte ist dann nach dem oben angedeuteten Verfahren auf den vorgeschriebenen Maßstab zu bringen und gegen Horizont bzw Meridian zu orientieren. Das von CHR SCHMIDT angegebene Spiel beweist, daß auch diese Lösung der paarweisen Bildorientierung theoretischen Wert besitzt.

b) Richtungsverfahren Eine praktische Möglichkeit, die wegen der weitgehenden Unabhängigkeit vom „gefährlichen Ort“ wichtige paarweise Bildorientierung auf rechnerischem Wege durchzuführen, ergibt sich aus gleichzeitiger Anwendung des für die Orientierung einzelner Aufnahmen nutzbaren bereits ausführlich dargestellten Rückwärtschnittens nach Fichtungen (S 176) auf zwei zusammengehörige Bilder.<sup>2</sup> Man verschafft sich Näherungswerte für die (insgesamt 12) Orientierungselemente beider Aufnahmen und beobachtet im Bildmeßtheodolit die je zwei horizontalen und vertikalen Richtungen nach drei im gemeinsamen Bildfeld beider Aufnahmen identifizierten und ihrer Raumlage nach gegebenen Objektpunkten. Es ergeben sich damit sechs Paare von linearen Bestimmungsgleichungen.

<sup>1</sup> Der gnomonische Kernpunkt ist natürlich zunächst nur näherungsweise stellbar. Seine endgültige Lage findet man durch entsprechende rechnerische, äußerst kompliziert auswirkende Drehungen des einen Strahlenbündels um die  $K_*$  des Gnomon.

<sup>2</sup> O v GRUBER, Über den räumlichen Rückwärtschnitt, ZS f Verm 53, S 288

rt der Systeme 1' und 2' von S 176 Aus je zwei Paaren werden zunächst die Korrekturen der Lagekoordinaten beider Standorte eliminiert, so daß acht Bestimmungsbedingungen übrig bleiben, nach deren in der üblichen Weise durchgeführten Auflösung ergeben sich auch die vier Korrekturen der Lagekoordinaten

Bei diesem übersichtlichen und verhältnismaßig einfachen Verfahren erfolgt also im Gegensatz zum Kernpunktverfahren die relative und absolute Orientierung gleichzeitig

**47 Optisch-mechanische Methoden a) Koinzidenzverfahren** Die auf 179 für die Orientierung von Einzelaufnahmen angegebene optisch-mechanische Methode läßt sich auch für die paarweise Bildorientierung verwenden. Man orientiert zunächst jedes Meßbild für sich, indem man (bei Schrägaufnahmen) Neigung, Verkantung und Flughöhe bis zur völligen Koinzidenz des aus dem Bild kartierten (für beide Bilder natürlich zweckmäßig gemeinsamen) Festpunktdreiecks mit seiner gegebenen orthogonalen Projektion andert. Da bei dieser Art der Einpassung die azimutale Orientierung keine Rolle spielt, fehlen nach Durchführung der Orientierung der Einzelbilder außer der Horizontal-

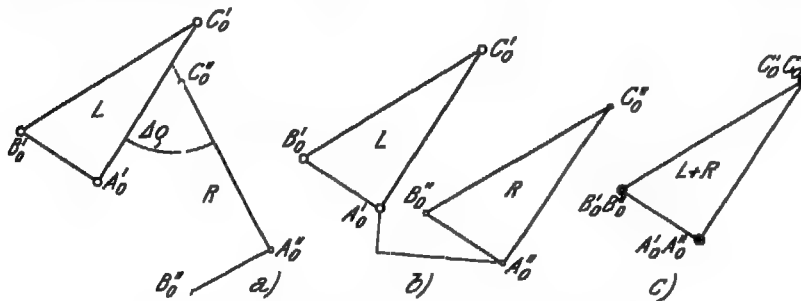


Abb 215. Optisch-mechanische Orientierung eines Bildpaares

projektion der Basis der Horizontalwinkel zwischen der letzteren und den Aufnahmerrichtungen. Man findet diese Orientierungselemente in Anlehnung an die von R. HUGERSHOFF<sup>1</sup> vorgeschlagene Methode, indem man den aus beiden Einpaßprozessen hervorgegangenen, auf gemeinsamer Zeichenfläche aufgetragenen Grundrißprojektionen des Festpunktdreiecks (Abb 215a) den gegenwärtigen Verschwenkungswinkel  $\Delta \rho$  entnimmt, um den nun der eine Bildträger gegen den entsprechenden Lenker zu verschwenken ist. Eine Neuauftragung ergibt dann beispielsweise die Punktgruppierung der Abb 215b. Man mißt jetzt die Koordinatendifferenz, zum Beispiel der Eckpunkte  $A_0'$  und  $A_0''$ , und verändert um diese Werte die zufällig vorhandenen Einstellungen des  $b_w$ - bzw.  $v$ -Schlittens des Basissystems. Hiernach werden bei erneutem Aufsetzen des Meßstiftes auf die Punkte  $A, B, C$  und entsprechender Einstellung der Höhenmeßrichtung die angegebenen Punkte gleichzeitig im linken und rechten Okular an den Meßmarken, diese also im Kontakt mit dem jetzt erzielten Raummodell erscheinen (Abb 215c). Etwa noch auftretende Vertikalparallaxen oder Abstandshfehler, als Reste von Orientierungsfehlern, bedingt durch die bisherige monokulare und darum nicht allzu exakte Einzelorientierung, werden durch Feinkorrektur der Orientierungselemente beseitigt. Sinn und Größe dieser Korrekturen ergeben sich meist unmittelbar aus der Anschauung.

Von dem geschilderten Verfahren wird mit besonderem Vorteil bei Schrag-

<sup>1</sup> R. HUGERSHOFF, Int Arch f Photogramm 6, 1923, S 89

aufnahmen Gebrauch gemacht,<sup>1</sup> hier wird ihm in der Praxis im allgemeinen vor der im folgenden angegebenen Methode der Vorzug gegeben, die ihrerseits für Steil- und Senkrechtaufnahmen Ausgezeichnetes leistet

b) Parallaxenverfahren Diese wichtige Methode gehört, wie das un 46a) beschriebene Kernpunktverfahren zu jener Gruppe, bei der zunächst gegenseitige Orientierung der Meßbilder erfolgt, worauf das so erhaltene Modell nachtraglich auf die vorgeschriebene Größe und in die vorgeschriebene Lage zur Erdoberfläche gebracht wird. Das Verfahren geht dementsprechend ebenfalls von der Überlegung aus, daß sich zugeordnete Strahlen im Raum schneiden müssen,<sup>2</sup> benutzt aber weder die Winkel der von zusammengehörigen Zielstrahlen gebildeten Ebenen (Kernebenen), noch deren Spuren in einer Hilfsebene (gnomonische Projektionsebene), sondern verwendet im wesentlichen zwei Hilfsebenen:

a) *Gegenseitige Orientierung* Eine von diesen Ebenen, die Grundebene ( $xy$  Ebene), wird im allgemeinen, aber nicht notwendig, durch die Aufnahmebasis gelegt. Die zweite, die Schirmebene ( $xz$ -Ebene), steht winkelmäßig zur

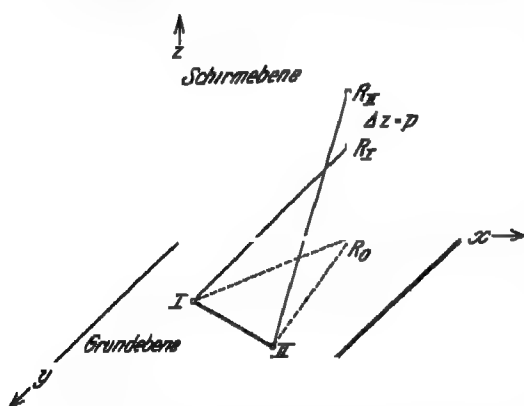


Abb. 216 Vertikalparallaxen in der Schirmebene

Grundebene, sie wird, vgl. Abb. 216, durch den Schnittpunkt der Orthogonalprojektionen (beiden betrachteten Bildstrahl  $IR$  bzw.  $IIR$ ) gelegt. Schneiden sich diese Strahlen wegen fehlender Relativorientierung nicht, so werden sie die Schirmebene in zwei getrennten, übereinander liegenden Punkten  $R_I$  bzw.  $R_{II}$  durchstoßen, deren Höhenkoordinatendifferenz  $\Delta z$  („Vertikalparallaxe“, künftig VP bezeichnet) eine Funktion des wirklichen Orientierungsfehlers ist.

Das Verdienst, diese Vertikalparallaxen als Grundlage für die Relativorientierung zweier Aufnahmen, und zwar auch solcher aus der Luft, eingeführt zu haben, gebührt K. FUCHS.<sup>3</sup> Eine ausführliche theoretische, auf die besonderen Verhältnisse der Stereoplanigraphen zugeschnittene Darstellung des Verfahrens hat O. v. GRUBER<sup>4</sup> veröffentlicht.

Mit Rücksicht auf die besondere Bedeutung des Parallaxenverfahrens seiner Anwendung auf (ungefähr) senkrechte Aufnahmen aus (nahezu) gleicher

<sup>1</sup> Das Verfahren ist — grundsätzlich wenigstens — auch auf Steil- und Senkrechtaufnahmen anwendbar, bei ihm wäre die gegenseitige azimutale Orientierung natürlich nicht durch Verschwenkung, sondern durch Verkantung einer der beiden Aufnahmen herbeizuführen (vgl. S. 174, Anm. 8).

<sup>2</sup> Diese Bedingung legt übrigens auch H. v. SANDEN der Aufstellung ein theoretisch interessanter Rechenverfahrens zugrunde (ZS f. Math. u. Phys. 50, 19 vgl. auch E. KRUPPA, Sitzungsber. d. Wiener Akad. d. Wiss. 121, 1912).

<sup>3</sup> K. FUCHS, ZS f. Verm. 30, 1907, S. 73, und insbesondere Derselbe, I. Arch. f. Photogram. 1, 1908, S. 201 und 2, 1909, S. 112. Der Verfasser deutet hier auch völlig klar an — wohl im Kenntnis des SCHLIMPERFUCHSschen Doppelprojektions — wie die von ihm berechneten Korrektionsgrößen praktisch zu verwerten sind, nämlich durch Drehung des „starrten (Bildstrahlen-) Bündels“ das sich im Pole der zweiten Kammer wie in einem Kugelgelenk frei drehen kann.“ Merkwürdigerweise wurde dieser bloß mechanische Prozeß neuerdings in Deutschland patentiert.

<sup>4</sup> O. v. GRUBER, Einf. u. Doppelpunktschaltung im Raum. Jena 1924.

he (Streifenaufnahme mittels einfachen Reihenbildners, vgl S 151) sei der isch-mechanische Orientierungsvorgang für diese Art der Aufnahmen im zentralen veranschaulicht<sup>1</sup>. Als Grundebene wird hier die Vertikalebene durch nachst) beide Standpunkte, als Schirmebene die Kartenebene (bzw eine zu parallele) Ebene verwendet. Bei der Mehrzahl der mechanischen Kartierungsgeräte mit subjektiver Modellgewinnung (stereoskopische Kartierungsgeräte) werden dabei Aufnahmen mit vertikaler Kammerachse so in die Bildträger eingelegt, daß die ursprünglich horizontalen Bildebenen vertikal sind, die an sich vertikale Grundebene wird demnach zum Apparatehorizont ( $x y$ -Ebene), die urmebene bzw die Kartenebene aber zur Aufrißebene ( $x z$ -Ebene) des Apparates. Objektpunkte, Standpunkte und Bildpunkte bzw Meßbilder stellen nun durch Vermittlung der in den Objektpunkten sich schneidenden Bildstrahlen ein starres Ganzes dar, das man im Raum, etwa um den linken Standpunkt, beliebig drehen kann, ohne daß die Relativorientierung gestört wird, aus praktischen Gründen denkt man sich das ganze Strahlengebilde so gedreht, daß das linke Meßbild genau vertikal und dessen in die Basisrichtung zeigende Markenbindungslinie genau horizontal wird, also in der Grundebene liegt.<sup>2</sup> Das rechte Meßbild wird nun dieser Annahme entsprechend in den linken Bildträger gelegt. Die gleiche Lage erhält zunächst auch das rechte Meßbild. Erhält man bereits jetzt, gegebenenfalls nach Verschiebung des Schlittens für die Basis-Komponente  $b_x$  in Richtung der  $x$ -Achse (vgl z B S 99), ein einwandfreies stereoskopisches Modell, läßt sich also durch entsprechende Betätigung der drei Trieborgane des Kartierungsgerätes die Raummarke mit jedem beliebigen Meßbildpunkt störungsfrei in optischen Kontakt bringen, so haben beide Aufnahmen die richtige Relativorientierung, sie waren also beide streng achsparallel, zeigen keine Flughöhenunterschiede und unterlagen keiner Abtrift und keiner einseitigen azimutalen Verdrehung. Das aber wird im allgemeinen niemals der Fall sein. Man kann deshalb durch eine  $b_x$ -Änderung gewöhnlich nur erreichen, daß ein an der linken Meßmarke eingestellter Bildpunkt im rechten Okular ober oder unter der rechten Meßmarke erscheint. Diese Bildhöhendifferenz ist das Bild der Vertikalparallaxe  $p$  in der Kartenebene (vgl Abb 216), die, wie schon angedeutet wurde, eine Funktion der fünf möglichen Orientierungsfehler des zweiten Meßbildes relativ zum ersten ist. Diese Orientierungsfehler sind

- 1. azimutale Verdrehung (Verkantungsdifferenz),
- 2. Basis-Komponente in Richtung der  $y$ -Achse (Flughöhendifferenz),
- 3. Querneigung (Kippungsdifferenz),
- 4. Längs- oder Hauptneigung (Verschwenkungsdifferenz),
- 5. Basis-Komponente in Richtung der  $z$ -Achse (in der Hauptsache Abtrift), deren Anteil an der jeweilig auftretenden VP von der Lage des betreffenden Bildpunktes zur Grundebene und, wie sich zeigen wird, zur Vertikalebene durch den linken bzw rechten Standpunkt ( $yz$ -Ebene) abhängt.

Für die an irgendeinem Modellpunkt beobachtete VP wird also ganz allgemein gelten

$$p = f(\Delta x, \Delta b_y, \Delta v, \Delta \varrho, \Delta b_z) \quad (I)$$

<sup>1</sup> Die praktische Möglichkeit einer derartigen Orientierung wurde noch 1917 bezweifelt, vgl S FINSTERWALDER, Alte u neue Hilfsm d Landesvermessung, München 1917, S 19.

<sup>2</sup> Bei dieser Anordnung geht jetzt im allgemeinen die Grundebene nur noch durch einen (linken) Standpunkt, da ja infolge einer etwaigen Verdrehung der Markenlinie zur Längsachse des Flugzeuges, dessen eigenen seitlichen Richtungsänderungen infolge des Einflusses der Abtrift diese Markenlinie normalerweise nicht mehr in der Vertikalebene durch die Flugrichtung (Basis) liegt (vgl hier S 180, Anm 1).



den Winkel  $\Delta \nu$  und betrachtet dabei wieder einen in der Seitenrißebene gelegenen Objektpunkt  $R$ , so ergibt sich an Hand der Abb 220 für die Vertikalparallaxe  $R_I R_{II} = p_v$  zunächst die Beziehung

$$p_v = \frac{m}{\cos \tau}$$

aus der mit

$$m = s \Delta \nu$$

$$\cos \tau = \frac{y}{s}$$

folgt

$$p_v = \frac{s^2 \Delta \nu}{y}$$

Da nun

$$s^2 = y^2 + z^2$$

so hat man schließlich

$$p_v = \Delta \nu \left( y + \frac{s^2}{y} \right) \quad (3)$$

der ebenfalls von der Punktabzisse unabhängige Einfluß einer Kippungs-

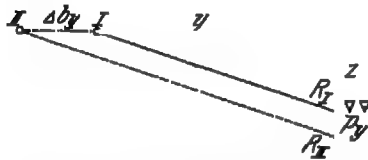


Abb 219 Vertikalparallaxe infolge Flughöhenunterschiede

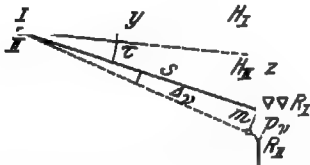


Abb 220 Vertikalparallaxe infolge Querneigungsdifferenz

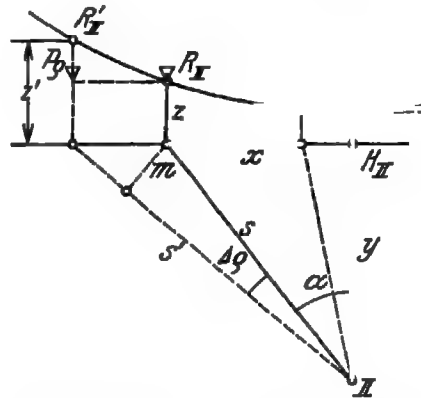


Abb 221 Vertikalparallaxe infolge Längsneigungsdifferenz

unterschied ist auf allen Punkten des Bildfeldes und im gleichen Sinne wirksam, wächst mit dem Quadrate der Punktkordinate

4 Vertikalparallaxe als Funktion einer Verschwenkungsdifferenz  $\Delta \varrho$  erschwenkt man die als achsparallel zur ersten (linken) Aufnahme also lotrecht gedachte zweite Aufnahme um den Winkel  $\Delta \varrho$ , so wird der Durchstoßpunkt  $R_{II}$  eines von  $II$  ausgehenden Bildstrahles durch die Kartenebene in eine neue Lage  $R'_{II}$  einnehmen. Die hierdurch bedingte Änderung der Punktkordinate  $z$  entspricht der durch  $\Delta \varrho$  bewirkten VP. Zur Veranschaulichung der Verhältnisse denken wir uns die beiden Lagen des Bildstrahles  $II R_{II}$  in die Grundebene projiziert und diese Ebene in die Kartenebene umgelegt (Abb 221). Die Lagekoordinaten des (richtigen) Kartenpunktes  $R_{II}$  seien  $x$  und  $z$ , der Horizontalwinkel des Bildstrahles  $II R_{II}$  gegen das Aufnahmelot  $II H_{II}$  sei  $\alpha$ . Der Neigungswinkel des Bildstrahles gegen die Grundebene sei  $\tau$ . Für die Vertikalparallaxe  $p_v$  gilt zunächst

$$p_v = z' - z$$

Da nun bei der Verschwenkung des Strahles  $II R_{II}$  sein Neigungswinkel gegen die Grundebene unverändert blieb, so gilt

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{z}{x} = \frac{z'}{x'}$$



woraus folgt

$$z' = \frac{s'}{s} z$$

Für  $s'$  ergibt sich genügend genau

$$s' = s + m \operatorname{tg} \alpha = s + s \Delta \varrho \operatorname{tg} \alpha = s \left( 1 + \Delta \varrho \frac{x}{y} \right)$$

Damit wird

$$z' = \left( 1 + \Delta \varrho \frac{x}{y} \right) z = z + \Delta \varrho \frac{x}{y} z$$

und schließlich

$$p_0 = \Delta \varrho \frac{x}{y} z$$

oder mit Bezug auf den Nadirpunkt der linken Aufnahme als Koordinate  
ursprung

$$p_0 = \Delta \varrho \frac{(b_s - x) z}{y} \quad ($$

Ein Verschwenkungsfehler ist also — ähnlich wie ein Höhenfehler — unwirksam für Objektpunkte in der Grundebene ( $z = 0$ ), außerdem aber noch für alle Punkte in der Vertikalebene (Seitenrißebene) durch den zweiten Standpunkt ( $x = b$ ). Seine maximale Größe, und zwar mit entgegengesetztem Vorzeichen, erreicht der Verschwenkungsfehler in der linken oberen u. unteren Ecke des Bildfeldes, da hier  $(b_s - x)$  seinen Höchstwert annimmt.

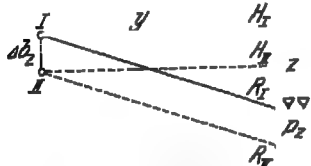


Abb. 222 Vertikalparallaxe  
infolge Abtritt

rißprojektion (Abb. 222) zweier zusammengehöriger Bildstrahlen  $I R_I$  bzw.  $II R_{II}$  unmittelbar

$$p_s = \Delta b_s$$

Ein derartiger Orientierungsfehler beeinflusst also alle Kartenpunkte in gleicher Weise.

Setzt man jetzt die aus den Gleichungen (1) bis (5) hervorgegangenen Werte für die Teilparallaxen in die Gleichung (II') ein, so ergibt sich für die unter Wirkung sämtlicher Orientierungsfehler an einem beliebigen Punkt auftretende Totalparallaxe  $p$

$$p = \Delta \kappa (b_s - x) + \Delta b_s \frac{z}{y} + \Delta \nu \left( y + \frac{z^2}{y} \right) + \Delta \varrho (b_s - x) \frac{z}{y} + \Delta b_s \quad (I)$$

An Stelle der an sich natürlich möglichen rechnerischen Ermittlung der Korrekturen (durch Messung der totalen VP an fünf geeignet gewählten Punkten des Gesichtsfeldes ergeben sich fünf Bestimmungsgleichungen für die unbekannten Korrekturen) soll die optisch-mechanische Ermittlung treten. Hierzu benutzt man die oben gemachte Feststellung, daß sich die Fehlereinflüsse am meisten an Objektpunkten auswirken, die entweder in der Grundebene oder in den (vertikalen) Seitenrißebenen durch die beiden Standpunkte liegen. Zu Beginn der Arbeit bringt man das Bild eines Objektpunktes in der Nähe des Bildhauptpunktes des rechten Meßbildes durch Verschiebung des rechten Basisendpunktes in der  $x$ -Richtung in eine Vertikale mit dem entsprechenden Bildpunkt des linken Meßbildes und beseitigt die auftretende VP, wenn nötig, entweder durch Kippung des rechten Bildtragers oder durch eine Verschiebung  $\Delta b_s$  des rech-

ausendpunktes in der  $z$ -Richtung<sup>1</sup> Dann sucht man einen Objektpunkt in der Nähe des Nadirpunktes der linken Aufnahme und beseitigt die hier auftretende Verkantung restlos durch entsprechende Verkantung der rechten Platte Die azimuthale Orientierung ist hiermit endgültig gefunden

Da für die Totalparallaxe am Nadirpunkt der rechten Aufnahme ( $x = b_s$ ) nach Gleichung (III) allgemein gilt

$$p = \Delta v \cdot y + \Delta b_s \quad (a)$$

ist aber infolge der oben angegebenen Maßnahmen  $p = 0$  ist, so folgt die Beziehung

$$\Delta b_s = -\Delta v \cdot y \quad (b)$$

Für einen Punkt in der Seitenrißebene durch den rechten Standpunkt ( $x = b_s$ ) ist möglichst großer positiver Ordinate  $z_o$  gilt allgemein nach Gleichung (III)

$$p_o = \Delta b_s \cdot \frac{z_o}{y} + \Delta v \left( y + \frac{z_o^2}{y} \right) + \Delta b_s$$

und in Verbindung mit (b)

$$p_o = \Delta b_s \cdot \frac{z_o}{y} + \Delta v \left( y + \frac{z_o^2}{y} \right) - \Delta v \cdot y$$

oder

$$p_o = \Delta b_s \cdot \frac{z_o}{y} + \Delta v \cdot \frac{z_o^2}{y} \quad (c)$$

Die Beseitigung dieser VP kann sowohl durch Höhen ( $\Delta b_y$ )- als auch durch Winklungsänderung ( $\Delta v$ ) vorgenommen werden Wir wählen das erstere Verfahren, wenn also

$$p_o = \Delta b_s \cdot \frac{z_o}{y} + \Delta v \cdot \frac{z_o^2}{y} = 0 \quad (d)$$

erfüllt werden soll, so muß gelten

$$\Delta b_s = -\Delta v \cdot z_o \quad (e)$$

Man sucht nun einen weiteren Punkt in der Seitenrißebene durch den rechten Standpunkt aber mit der Ordinate  $z_u = -z_o$ , auf Für diesen Punkt gilt nach (III) ganz allgemein

$$p_u = \Delta b_s \cdot \frac{z_u}{y} + \Delta v \left( y + \frac{z_u^2}{y} \right) + \Delta b_s$$

Im vorliegenden Falle also und unter Berücksichtigung der Beziehungen (b) und (e)

$$p_u = +\Delta v \cdot z_o \cdot \frac{z_o}{y} + \Delta v \left( y + \frac{z_o^2}{y} \right) - \Delta v \cdot y$$

oder

$$p_u = 2 \cdot \Delta v \cdot \frac{z_o^2}{y} \quad (f)$$

Die diesmal auftretende VP ist eine Funktion von  $\Delta v$  allein, dieser Orientierungsfehler kann also jetzt endgültig beseitigt werden Der linearen Größe der um

<sup>1</sup> Es wird hierbei vorausgesetzt, daß das linke Meßbild keine eigene Verkantung erfahren soll Es liegt nun, wenigstens bei Orientierung einzelner Bildpaare, natürlich in Zwang vor, die erste (linke) Platte unverkantet in das Kartierungsgerät einzulegen, man kann ihr vielmehr jede beliebige und insbesondere eine solche Verkantung geben, daß die Grundebene durch beide Standpunkte geht, die Korrektur  $\Delta b_s$ , der Abstand des rechten Standpunktes von der Grundebene, also entfällt Einen Orientierungswert für die dem linken Meßbild in diesem Falle zu gebende Verkantung findet man durch Messung des Winkels zwischen Markenlinie und Verbindungslinie der Bildmittelpunkte, nachdem man zwei Bildabzüge zur Deckung gebracht hat und unverkantet dann die beiden Meßbilder gegenseitig und so lange, bis sowohl in der linken als auch des rechten Nadirpunktes keine VP mehr auftritt

Bilde gesehenen VP entspricht ein Gesichtswinkel  $\omega$ , der aber nicht identisch ist mit der Neigungskorrektur  $\Delta \nu$ . Die Beziehung zwischen beiden ergibt sich an Hand der Abb. 223. Es ist

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{n}{s} = \frac{p_u \cos \tau}{y} \cos \tau$$

oder näherungsweise

$$p_u = -\frac{y}{\cos^2 \tau} \omega$$

Hieraus folgt in Verbindung mit (f)

$$\Delta \nu = \omega \left( \frac{y}{s_0} \right)^2 \frac{1}{2 \cos^2 \tau} \quad (g)$$

Der Faktor von  $\omega$  hat im Durchschnitt den Wert von ungefähr 5, mit ihm ist also der am Kartierungsgerät zu messende Winkel  $\omega$  zu multiplizieren, um die Neigungskorrektur  $\Delta \nu$  zu erhalten.

Wird diese Korrektur angebracht, so zeigt sich im Punkte  $x = b_s, z = ($  (also nahe dem Nadirpunkt der rechten Aufnahme), entsprechend der Beziehung (a) eine Vertikalparallaxe  $p'$ , für die gilt

$$p' = \Delta b_s \quad (h)$$

Nach ihrer Beseitigung verbleibt im Punkte  $x = b_s, z = z_0$  entsprechend der Beziehung (c)

$$p_0 = \frac{z_0}{y} \Delta b_s \quad (i)$$

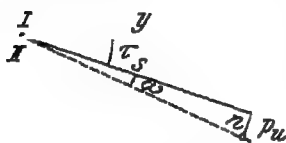


Abb. 223 Ermittlung der Querneigung aus  $p_u$

welche VP nun ebenfalls endgültig zu beseitigen ist.

Damit sind alle Punkte in der Haupthorizontale und in der Hauptvertikalen im zweiten Standpunkt frei von Vertikalparallaxen als letzter der zu eliminierenden Orientierungsfehler bleibt die Langsneigungs- (Verschwenkungs-) Korrektur

$$p_\theta = \frac{(b_s - x)}{y} \Delta \varrho,$$

die ihr Maximum in der Hauptvertikalen der linken Aufnahme ( $x \leq 0$ ), und zwar in den Bildfeldecken erreicht, die hier sichtbare restliche VP wird in allgemeinen durch horizontale Verschwenkung des rechten Bildtragers gegen den mit ihm verbundenen Lenker erzielt.

Der ersten Durchführung des Verfahrens muß unter Umständen eine Wiederholung folgen, falls sich noch kleine Reste von Vertikalparallaxen zeigen, entsprechend dem Umstand, daß die dem Orientierungsvorgang zugrunde liegende Beziehungen nicht völlig streng sind.

<sup>1</sup> Bei der Herstellung der Orientierung gemäß den Gleichungen (a) bis (i) da selbstverständlich der Abstand  $y$  der Schirm bzw. Kartiebene nicht verändert werden will man also zur unmittelbaren Vergleichung den auf seine VP zu untersuchenden im linken Okular an der Meßmarke stehenden Bildpunkt im rechten Okular in die Vertikale durch die rechte Meßmarke bringen (vgl. Abb. 216), so daß das nur durch proportionale Änderung der eingestellten Basiskomponenten (d. durch Parallelverschiebung des rechten Bildstrahlenbündels längs der Raumbas) geschehen. Das ist besonders zu beachten, wenn das Gelände in Richtung der rechten Bildvertikalen größere Höhenunterschiede aufweist. In gewissen Fällen (nämlich bei Bildpaaren mit quer zur Flugrichtung geneigten Achsen, mit Nadirdistanz zwischen etwa  $10^\circ$  und  $80^\circ$ ), könnte man allerdings, wie an Hand der Beziehung (2), (3) und (4) leicht zu erkennen ist, die Relativorientierung zweckmäßig auch durch systematische Änderung von  $s$  und  $y$  erzielen.

Die unvollständige Beseitigung der VP erzeugt Deformationen des Modells bewirkt beispielsweise ein Verschwenkungsfehler eine Biegung in der Flugrichtung, ein Kippungsfehler eine hyperboloidische Deformation. Nun kann man aber unter Umständen beobachten, daß auch bei restloser Beseitigung der VP Modelloberfläche Deformationen aufweist. Diese sind darauf zurückzuführen, daß die auftretenden und zunächst auch eliminierten VP aus zwei Komponenten gebildet werden, deren eine (zu beseitigende) wir die Orientierungskomponente, deren zweite (übrig bleibende) wir die Deformationskomponente nennen. Letztere ist die Folge einer mangelhaften Apparatejustierung, einer ungleichförmigen Veränderung (Schrumpfung) des Aufnahmematerials und eines Unterschiedes in den Verzeichnungsfehlern von Kammer- und Bildträgerobjektiven. Die Trennung beider Komponenten kann praktisch nur mittelbar geschehen, nämlich durch Heranziehung der Abmessungen am (orientierten) Modell.

*β) Maßstabsbestimmung und Horizontierung des optischen Modells* Die Maßstabsbestimmung geschieht durch Vergleich einer (möglichst großen) Raumecke  $S'$  des optischen Modells mit der entsprechenden Strecke  $S$  des Objektes. Man kartiert zu diesem Zweck zwei im Modell identifizierte Festpunkte 1' und 2'. Man liest an der Höhenmeßeinrichtung die Höhen  $H'_1$  und  $H'_2$  (in mm) ab. Aus dem Abstand  $S'_0$  der Festpunktprojektionen (in mm) und der Differenz  $H'_1 - H'_2 = d'$  der beiden gemessenen Höhen findet man zunächst

$$S' = \sqrt{S'_0{}^2 + d'^2}$$

oder meist genügend genau

$$S' = S'_0 + \frac{d'^2}{2S'_0} \quad (1)$$

weiter ergibt sich aus den Differenzen  $\Delta x$  und  $\Delta y$  der Lagekoordinaten der Festpunkte (in m) die Länge der wahren Horizontalprojektion der Raumecke

$$S_0 = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

und mit der Differenz  $d$  der wahren Höhe  $H_1$  und  $H_2$  dieser Punkte die Raumecke selbst (in m)

$$S = \sqrt{S_0{}^2 + d^2}$$

oder meist genügend genau

$$S = S_0 + \frac{d^2}{2S_0} \quad (2)$$

mit ist das Maßstabsverhältnis 1 :  $m'$  des vorliegenden Modells

$$\frac{1}{m'} = \frac{S'}{1000 S}$$

Wenn das Modell auf einen bestimmten Maßstab 1 :  $m$  gebracht werden, so muß

Modellstrecke  $S'$  mit Hilfe eines Reduktionsfaktors  $r$  auf eine bestimmte Größe gebracht werden. Der Faktor folgt aus der Beziehung

$$\frac{1}{m} = \frac{r S'}{1000 S}$$

ist also

$$r = \frac{1000 S}{m S'} \quad (3)$$

Mit diesem Faktor werden alle drei am Kartierungsgerät abzulesenden Basis-  
komponenten multipliziert und dann erneut eingestellt. Damit wird das aus drei  
bekannten<sup>1</sup> Festpunkten gebildete, im Maßstab 1 :  $m$  verjüngte Dreieck z. B.

Punkte 1, 2 und 3 dem entsprechenden Dreieck 1', 2' und 3' im Modell  
angruent

<sup>1</sup> Von dem dritten Festpunkt braucht, wie auf S 181 gezeigt wurde, nur die Höhe bekannt zu sein.

Zur Bestimmung der Modellneigung und der Richtung dieser Neigung man sich das verjüngte Objektdreieck so verschoben und gedreht, daß die Punkte 1 und 1' sich decken und entsprechende Dreiecksseiten die azimutale Orientierung haben. In dieser Lage entspricht die Schnitt beider Festpunktebenen derjenigen Achse, um die das Modell bis zur Lage zum Horizont zu neigen ist. Der Neigungswinkel ist gleich dem zwischen beiden Ebenen. Da diese in beliebiger Richtung auftretende  $\delta$  in den Kartierungsgeräten im allgemeinen durch Neigung des Modells um feste Achsen, nämlich um eine Parallele zur  $x$ -Achse und um eine Parallele zur  $y$ -Achse zu beseitigen ist, so interessieren weniger der totale Neigungswinkel als vielmehr seine Projektionen auf die  $yz$ -Ebene (Modellkippfung  $\delta_v$ ) und die  $xz$ -Ebene (Modellverschwenkung  $\delta_w$ ).

Man stellt hierzu zunächst folgende Tabelle auf

Festpunkte Nr	Objekthöhen			Modellhöhen		H abw
	Original m	auf Punkt 1 reduziert m	im Maßstab 1 m mm	Original mm	auf Punkt 1' reduziert mm	
1	$H_1$	0	0	$H_1'$	0	
2	$H_2$	$H_2 - H_1 = \Delta_2$	$\frac{1000}{m} \Delta_2 = \delta_2$	$H_2'$	$H_2' - H_1' = \delta_2'$	$\delta_2 - \delta_2'$
3	$H_3$	$H_3 - H_1 = \Delta_3$	$\frac{1000}{m} \Delta_3 = \delta_3$	$H_3'$	$H_3' - H_1' = \delta_3'$	$\delta_3 - \delta_3'$

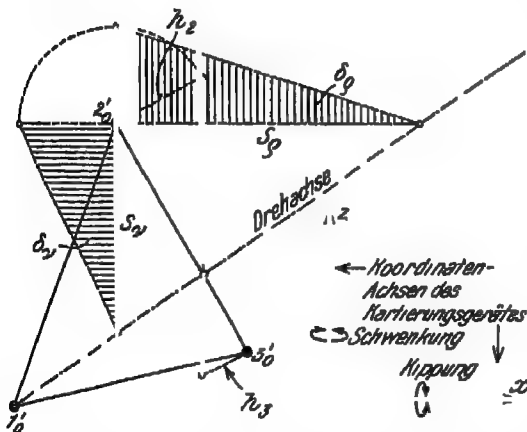


Abb. 224 Horizontierung des optischen Modells

Mit den Zahlen der Spalte findet man an Hand Auswertegerät kartierten Punkte 1', 2', 3' des Objektdreiecks die Drehachse im allgemeinen genau durch die Abb. 224 angedeutete Konstruktion. Legt man dann durch einen der Eckpunkte (z. B. 2') Vertikale parallel zu den Koordinaten des Kartierungsgeräts, so erhält man die gesuchten Komponenten  $\delta_v$  und  $\delta_w$ , wobei

$$\operatorname{tg} \delta_v = \frac{h_2}{s_2}$$

und

$$\operatorname{tg} \delta_w = \frac{h_2}{s_w}$$

Um diese Winkel, die sich im allgemeinen am einfachsten mit dem Rechner ermitteln lassen, sind zunächst beide Bildträger zu kippen,<sup>1</sup> bzw

<sup>1</sup> Hinsichtlich der Kippung ist dieses Verfahren nur dann exakt, wenn die Kammerachsen keine Verschwenkung hatten, die Kippung der Bildträger nämlich wie vorgeschrieben, um die  $x$ -Achse erfolgt, mit der die Kippachsen der Bildträger im Falle nicht verschwenkter Aufnahmen zusammenfallen. Die an sich ergebende Deformation des optischen Modells ist bei Senkrechtaufnahmen gering, daß sie bei der Wiederholung des Orientierungsverfahrens mit werden kann. Bei stark konvergenten Aufnahmen ist vor der Kippung die Projektion des Kippungswinkels  $\delta_v$  auf die  $yz$ -Ebene nach der Formel

$$\delta_v' = \delta_v \cos \varphi$$

zu berechnen, worin  $\varphi$  die Verschwenkung des betreffenden Bildträgers ist

venken<sup>1</sup> Die entsprechende, außerdem notwendige Kippung und Verschwenkung der Raumbasis, die an sich durch Berechnung und Einstellung der Projektion der gedrehten Basis<sup>2</sup> auf die Koordinatenachsen herbeizuführen wäre, wird bei l- und Senkrechtaufnahmen praktisch und zweckmäßig indirekt vorgenommen, indem man nach Kippung und Verschwenkung der Bildträger den Einpaßvorgang wiederholt und so das Modell — vorzugsweise durch Änderung von  $b_1$ ,  $b_2$  — wieder gewinnt Der gesamte Einpaßvorgang dauert, einschließlich Wiederholung bis zur exakten maßstabgerechten Herstellung des Modells, in länger als zwei Stunden<sup>3</sup>

Die geschilderte Methode ist ohne weiteres auch anwendbar auf ungefähr rechte Aufnahmen steiler, das ganze Bildfeld ausfüllender Berghänge, also auch auf Flugaufnahmen in breiten Hochgebirgstälern Bei Schrägaufnahmen Neigungen zwischen  $10^\circ$  und  $80^\circ$  (vgl auch S 190, Anm 1) kann die Methode ebenfalls Verwendung finden, hier wird man die Bildpaare zunächst Senkrechtaufnahmen behandeln, also mit vertikaler Bildebene in das Kartographiergerät einlegen und gegenseitig orientieren Die absolute Orientierung ergibt sich durch eine gemeinsame Verkantung und eine größere gemeinsame Neigung des Modells Hier müssen nun die durch die räumliche Drehung erhaltenen neuen Basiskomponenten genau berechnet<sup>4</sup> und sorgfältig eingestellt werden, da nach der Drehung eine einfache Möglichkeit zur Eliminierung der verbleibenden Restparallaxen nicht mehr besteht Infolgedessen verliert hier das Verfahren wesentlich an Bedeutung und wird, wie schon erwähnt, zweckmäßig durch das Koinzidenzverfahren ersetzt

### C. Orientierung von Bildgruppen Aerotriangulation

Zur Überdeckung eines bestimmten Gebietes mit Flugaufnahmen ist für einen vorgeschriebenen Bildmaßstab eine bestimmte Anzahl von Bildpaaren erforderlich (s S 224), die beispielsweise bei doppelt so großem Bildmaßstab viermal so viele werden Entsprechend wächst auch, falls die Bildpaare getrennt und unabhängig voneinander zum Horizont (bzw Meridian) orientiert werden, die Anzahl der erforderlichen Festpunkte

Die recht beträchtlichen Kosten und der Zeitaufwand für eine gesonderte Orientierung aller dieser Punkte oder auch nur, falls das vorhandene Punktnetz nicht dicht genug ist, für die nachträglichen Anschlußmessungen benachteiligen in den Bildern identifizierbarer Punkte können zwar dem phototopographischen Verfahren seine Überlegenheit über die üblichen Verfahren (wenigstens bei mittleren und kleinen Maßstäben) nicht nehmen, wirken sich aber in verschiedener Beziehung sehr ungünstig aus, so insbesondere bei der Aufnahme schwer zugänglicher Gebiete

Über den Drehsinn, in dem die entsprechenden Einstellungen der Bildträger vorzunehmen sind, ist man sich im allgemeinen ohneweiters klar, für den Beobachter der Aerokartographen gilt die einfache Regel Neigung in Richtung der Steigung, Verkantung in Richtung der Senkung des Modells

<sup>1</sup> O v GRUBER, Einfache und Doppelpunktemechanismen im Raum, S 50

<sup>2</sup> Auch hier ist darauf hinzuweisen, daß die vorherige Beschaffung von Nahen für die Orientierung sei es durch Maßnahmen bei der Aufnahme (Labellierung, Kreisorientierung) oder durch rechnerische, graphische oder mechanische Mittel, zwecklos ist bzw in keinem Verhältnis zu den aufgewendeten Kosten

<sup>3</sup> Das Zeitraubende bei der Einpaßung ist immer nur die Feinorientierung, die eine gute Hilfsmittel nicht überflüssig wird

<sup>4</sup> Die Berechnung ist trotz der dafür angegebenen graphischen Hilfsmittel sehr mühsam, vgl hierzu O LACMANN ZS f Verm 57, 1928, S 497

Die wirtschaftliche Bedeutung und die Anwendbarkeit der Luftphotogrammetrie wird darum eine wesentliche Steigerung erfahren durch Entwicklung von Methoden, die eine engmaschige Triangulation entbehrlich machen.

Eine völlige Unabhängigkeit von Festpunkten auf der Erde ist — wenigstens bei dem jetzigen Stand der Technik — praktisch nicht möglich. Trotzdem es an Vorschlägen nach dieser Richtung nicht gefehlt. Einige Erfinder versuchten die Aufnahmebasis starr auszubilden und ihre Orientierung zum Lot und Meridian automatisch direkt oder indirekt zu bestimmen. Hierher gehört der wohl für meisten vorbildlich gewesene Versuch THIMLES, zwei Ballonkammern miteinander zu verbinden (vgl. S. 149) und bei gleichzeitiger Auslösung Verschlüsse den Stand eines Federbarometers, einer Libelle und einer Barometertafel abzubilden. Später wurde vorgeschlagen, die beiden Kammern im Bug, Heck eines Luftschiffes oder in die Enden der Tragdecks von Flugzeugen<sup>1</sup> einzubauen und bei der Aufnahme u. a. auch den Stand der Sonne photographisch festzulegen (s. auch S. 106). Um den Nachteil der im Verhältnis zur praktischen erforderlichen Flughöhe stets kleinen starren Basis zu vermeiden, schlug zuerst A. KLINGATSCHE<sup>2</sup> die gleichzeitige Verwendung von zwei Flugzeugen Doppelkammern vor, bei deren drahtloser Verschlußauslösung sowohl Gelände als auch die Lage des gegnerischen Flugzeuges festgelegt werden. Den gleichen Gedanken ließ sich später H. BOYKOW<sup>3</sup> patentieren, der sich der Folgezeit auch mit der Konstruktion entsprechender Aufnahmeapparate befaßte. Ein ähnliches Verfahren wurde schließlich noch von L. E. W. ALBADA<sup>4</sup> angegeben.

Die Überbrückung festpunktloser Räume wird praktisch möglich, wenn man an den aus dem Bildinhalt eines Paares konstruierten Geländeabschnitt ein benachbartes Bild oder Bildpaar anschließt und das Verfahren bis zu gewissen, durch Fehleranhäufung bedingten Grenzen fortsetzt, also an der getrennten und unabhängigen Orientierung einzelner Bildpaare die gemeinsame Orientierung ganzer Bildgruppen bzw. Bildpaargruppen verwendet.

An den zur Zeit existierenden, hinsichtlich ihrer praktischen Bedeutung freilich nicht gleichwertigen diesbezüglichen Methoden unterscheiden wir zwei Gruppen, die beide im allgemeinen von der Orientierung eines Anfangspaares nach gegebenen Festpunkten ausgehen. Bei der einen Gruppe wird über den durch Rückwartseinschneiden gewonnenen Standpunkt des Bildes oder Folgebildpaares hinweg durch Vorwartseinschneiden neue Festpunkte bestimmt, die wiederum zur Standortbestimmung weiterer Bilder Rückwartseinschneiden dienen (wechselweises Rückwärts- und Vorwartseinschneiden, Einschnoidemethoden), für die zweite Gruppe ist kennzeichnend, daß die zweckmäßig in Streifenform aufeinanderfolgenden Einzelbilder jeweils vorhergehende absolut orientierte Bild relativ (meist<sup>5</sup> nach dem Para-

<sup>1</sup> Vgl. H. KRUTZSCH, D. R. P. Nr. 424500.

<sup>2</sup> A. KLINGATSCHE, Int. Arch. f. Photogramm. 5, 1919, S. 253. Januarheft.

<sup>3</sup> Lufttopographisches Verfahren D. R. P. Anmeldung (Aktenzeichen O. 1114) 29. Aug. 1919.

<sup>4</sup> L. E. W. VAN ALBADA, Phot. Konf. 64, 1928, S. 231.

<sup>5</sup> Hierher gehört in gewissem Sinne auch ein von S. FINKE-WANDER (A. neue Hilfsmittel der Landesvermessung, München 1917) vorgeschlagenes, allerdings nicht in Betracht kommendes rechnerisches Verfahren, bei dem gestützt auf die Anwendung des Kernpunktverfahrens (S. 180) und unter Zuhilfenahme von Richtungen nach der Sonne ein orientiertes Modell aus einem größeren Bild gewonnen und an Hand von (mindestens) zwei Festpunkten auf den vorgewählten Maßstab gebracht wird.

erfahren) ausgeschlossen werden. Die Überbrückung erfolgt hier also durch einanderreihen von (orientierten) Modellabschnitten (Modell- oder Raum-ildmethoden).

Das Einschnelden (erste Gruppe) geschieht entweder räumlich (nach Schrägaufnahmen) oder eben (nach Senkrechtaufnahmen oder transformierten Schrägaufnahmen), wobei im letzteren Falle natürlich nur die Horizontalprojektion der eupunkte erhalten wird (Nadirpunkttriangulation nach SCHEIMPFLUG).

Bei der zweiten Gruppe erfolgt die Relativorientierung der Folgebilder itweder gegen das zuvor rechnerisch orientierte Teilbild einer divergenten oppelaufnahme (Koppelreihe) oder unmittelbar und rein optisch gegen eine rhergehende vertikale Einzelaufnahme (Normalreihe).

**48 Räumliches Einschnelden.** Das Verfahren ist eine spezielle Anwendung r Meßtischphotogrammetrie (vgl. S. 44 und insbesondere Abb. 60). Auf rund eines Schrägbildpaares, das mit Hilfe von Festpunkten im Vordergrund r Einzelbilder orientiert wurde, lassen sich weitere Punkte im Hintergrund stimmen, die ihrerseits wieder zur Orientierung von weiteren Schrägbildpaaren erwendung finden können. Die Orientierung wird dabei wesentlich erleichtert id das Verfahren wird ergebiger, wenn man, nach dem Vorschlag von J. TH. CONEY<sup>1</sup> eine Doppelkammer benutzt, die aus einer langbrennweitigen Hori-ntalkammer und einer kurzbrennweitigen Vertikalkammer besteht und deren rschlüsse gleichzeitig ausgelöst werden.

Das Verfahren kann wertvoll sein zur Überbrückung von Meeresarmen, och für gewisse militärische Aufgaben ist es vorteilhaft. Für eine Netzverdieh-ng ganz im allgemeinen ist es wegen der beträchtlichen flugtechnischen ihwierigkeiten<sup>2</sup> und der sehr ungünstigen Fehlerfortpflanzung nicht geeignet s aus den Schrägaufnahmen gewonnenen Neupunkte sind in den Folgebildern r ungenau zu identifizieren. Ein umfangreicher Versuch zur Erprobung des rfahrens wurde 1921 im Auftrag der hydrographischen Abteilung des holländi-hen Marineministeriums von R. HUGERSHOFF durchgeführt.<sup>3</sup> Infolge der bei vorgeschriebenen — praktisch nicht zutreffenden — Annahme, daß das rsuchsgelände völlig eben sei, wurden nur Einzelbilder, nicht Bildpaare be-itzt und aus ihnen mit dem Autokartographen bei monokularer Beobachtung 93) die Situationlinien gezeichnet.

**49. Nadirpunkttriangulation nach Scheimpflug.**<sup>4</sup> Das Prinzip des Verfahrens rde bereits auf S. 38 und S. 149 dargestellt. Kurz zusammengefaßt setzt seine r zur Horizontalprojektion der neu bestimmten Punkte führende Anwendung nachst. voraus, daß die zweckmäßig streifenförmig angeordneten Aufnahmen h in der Flugrichtung um mehr als 50% überdecken, so daß auf jeder Auf-hme diejenigen Gelandepunkte abgebildet sind, die dem Nadirpunkt der rhergehenden und der folgenden Aufnahme entsprechen. Weiterhin wird rausgesetzt, daß die Bilder genügend genau senkrecht aufgenommen wurden. b 225 zeigt drei aufeinanderfolgende zunächst genau wagrecht gedachte lder, in denen die drei (hier mit den Hauptpunkten identischen) Nadirpunkte

<sup>1</sup> Vgl. u. a. TH. SCHEIMPFLUG, Int. Arch. f. Photogramm. 2, 1909, S. 34. Trotz der Veröffentlichung hat M. GASSER auf das Verfahren später ein Patent er-itten (D. R. P. Nr. 304 307).

<sup>2</sup> E. R. KRAHMER, Allg. Verm. Nachr. 40, 1928, S. 361.

<sup>3</sup> N. LUYKES, Mededeeling over de in Nederland gehouden proeven met Phot. Vliegtuigen, Haag 1922.

<sup>4</sup> Vgl. S. 38, Anm. 1. Eine gute Darstellung der Ausgestaltung des Verfahrens die topographische Praxis (in Verbindung mit barom. Höhenmessungen) gibt HORNÉ, Simple methods of surveying from Air Photographs, London 1927.



$I_0, II_0, III_0$  und die Bilder der Nadirpunkte der jeweilig benachbarten Aufnahme außerdem aber die Abbildungen zweier Objektpunkte  $A$  und  $B$  besonders hervorgehoben sind, die auf allen drei Bildern zur Darstellung kommen, d. h. in den dreifach überdeckten Geländestreifen liegen. Die Richtungen (Radianten)  $v$  den Nadirpunkten nach den gegnerischen Standpunkten bzw. den identifizierten Objektpunkten entsprechen gemäß der Voraussetzung drei Sätzen von horizontalen Richtungen, die, etwa auf Pauspapier übertragen und entsprechend gegeneinander orientiert, ein rautenähnliches Fünfeck (Abb 226) ergeben, durch das die gegenseitige Lage der drei Standpunkte und der beiden Neupunkte auf den Maßstab bestimmt ist. Dabei ist bemerkenswert, daß das Fünfeck ein überschüssige Messung enthält, beispielsweise könnte zur Festlegung der Figur der Strahl 10 weggelassen werden. Vereinigt man weitere Flugbilder, so ergibt sich (durch die in Abb 225 schon angedeuteten weiteren horizontalen Richtungen)

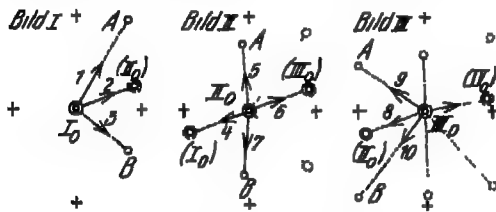


Abb 225 Nadirpunkttriangulation Drei Folgebilder

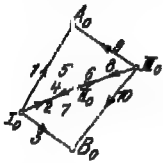


Abb 226 Allgemeines Fünfeck (Raute) aus drei Folgebildern

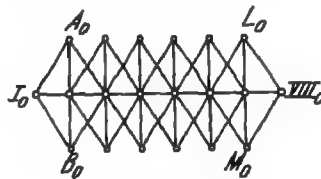


Abb 227 Rautenkette (schematisch)

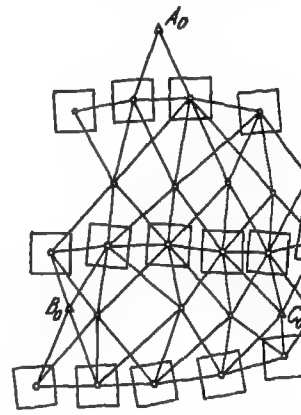


Abb 228 Allgemeines Dreiecknetz mit Anschlußpunkten

tungen) eine Kette von Rauten, bzw. Dreiecken (Abb 227) die auf Grund der vorhandenen Überbestimmungen erforderlich falls einer Ausgleichung<sup>1</sup> unterzogen werden kann. Die Entwicklung eines Dreiecknetzes aus mehreren nahezu parallelen Streifenaufnahmen ist schematisch Abb 228, in der auch angedeutet ist, daß durch Einbeziehung gegebenen triangulierten Punkte  $ABCD$  neben einer Maßstabsbestimmung weitere Möglichkeiten zu einer Ausgleichung der auftretenden Fehler gegeben sind.

Diese Fehler (vgl. auch S. 216) liegen zunächst darin, daß die in der Praxis als Scheitel der Richtungsbuschel benutzten Hauptpunkte (demzufolge das nutzte Verfahren auch Hauptpunkttriangulation genannt wird) wegen unvermeidlichen Abweichung der Aufnahmerichtung von der Vertikalen nicht mit dem Nadirpunkt zusammenfallen. Die zu erwartenden Richtungsfehler,<sup>2</sup> außer von der Kammerneigung auch von den Höhenunterschieden des Landes abhängig, sind jedoch gering und betragen durchschnittlich etwa 2'

<sup>1</sup> Eine sehr gute Darstellung hierzu gibt J. KOPPMANN, Allg. Verm.-Nachr. 1929, S. 33.

<sup>2</sup> Nach O. v. GRUBER, Bildmess. u. Luftbildwes. 3, 1928, S. 141.

<sup>3</sup> CL. ASCHENBRENNER, Mitt. d. Photogrammetrie G. m. b. H. München 2, 1. Nr. 5, P. WERKMEISTER, vgl. S. 38, Ann. 3, J. KOPPMANN, a. a. O., R. F. R. Bildmess. u. Luftbildwes. 4, 1929, S. 86.

Weitere Fehler des Verfahrens — und zwar von der gleichen Größenordnung — resultieren aus der im allgemeinen angewandten graphischen Entnahme und Übertragung der Richtungen

Es liegt nun wenigstens theoretisch nahe, die aus der unbekannten Nadirpunktslage sich ergebenden Fehler dadurch zu verringern, daß man gleichzeitig mit der Aufnahme die Blase einer Libelle abbildet, hierbei hat O. v. GRUBER<sup>1</sup> gezeigt, daß es vorteilhafter ist, an Stelle des Nadirpunktes selbst einen zwischen Nadirpunkt und Hauptpunkt gelegenen Punkt, den „Fokalphunkt“  $S$ , als Zentrum der Richtungsmessung zu wählen, dessen Abstand  $HS$  vom Hauptpunkt sich ergibt aus

$$HS = f \cdot \operatorname{tg} \frac{\nu}{2}$$

mit  $f$  als Kammerbildweite und  $\nu$  als der aus dem Blasenaußschlag der Libelle folgenden Nadirdistanz der Aufnahmerichtung. Gelingt es, letztere trotz der bekannten, allen Libellenneigungsmessern im Flugzeug anhaftenden Mängel mit der von

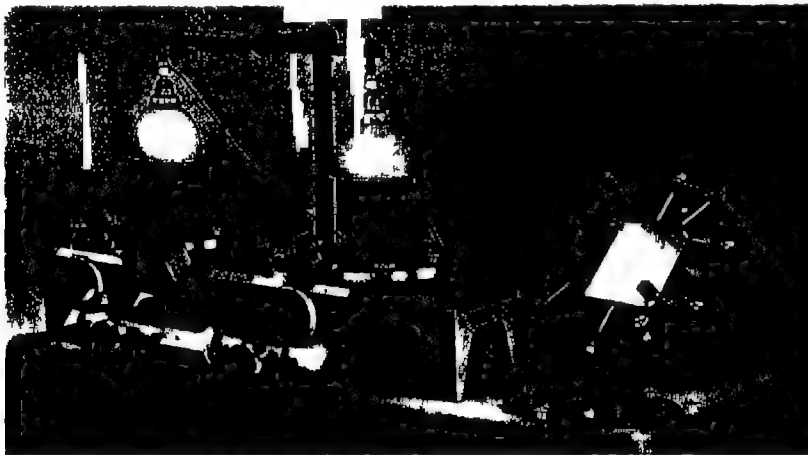


Abb. 229 Radialtriangulator der Fa. CARL ZEISS in Jena

GRUBER vorausgesetzten Genauigkeit von  $\pm 1^\circ$  zu ermitteln, so kann es sich lohnen, die gegenseitige azimutale Orientierung der Aufnahmen und die Richtungsentnahme aus ihnen mit größerer Genauigkeit durchzuführen, falls nämlich eine exakte Netzberechnung beabsichtigt ist und diese mit dem optischen Ziel im Einklang steht. Die Aufgabe einer genauen Orientierung der Richtungsentnahme erfüllt der von der Firma C. ZEISS hergestellte „Radialtriangulator“<sup>2</sup> (Abb. 229), in dem aufeinanderfolgende Bilder unter Drehung um den Punkt  $S$  und unter Zuhilfenahme des binokularen Sehens azimutal ineinander orientiert werden (vgl. S. 186). Die Orientierung ist dann vollzogen, wenn sich längs der Verbindungslinie der beiden Drehpunkte keinerlei Vertikalparallaxen mehr zeigen. Um diese deutlich in Erscheinung treten zu lassen, werden durch optische Drehung der Bilder um  $90^\circ$  in Horizontalparallaxen (vgl. S. 92) wandelt, sie werden damit also als Tiefenunterschiede wahrnehmbar.

<sup>1</sup> O. v. GRUBER, Bildmessung und Luftbildwesen 3, 1928 S. 141. Übrigens wird auch (wie auch bei J. KOPPMANN, a. a. O.) die Begründung des Nadirpunktverfahrens ähnlich S. PINSTERWANDER zugeschrieben. Vgl. auch M. HOTINE a. a. O. S. 58.

<sup>2</sup> O. v. GRUBER, a. a. O., vgl. auch O. v. GRUBER, Vermessungstechnik Rundsch. 8, 9, S. 2.

Das zuerst in den Vereinigten Staaten von Nordamerika praktisch und großem Maßstab angewendete Verfahren,<sup>1</sup> wobei auch Mehrfachkammern (S 1) benutzt werden, deren geneigte Bilder auf die nahezu wagrechte Ebene Mittelbildes umphotographiert werden, wird dort allmählich zugunsten sole Verfahren aufgegeben, die für die Neupunkte nicht nur die Lagekoordinaten sondern auch die Höhen liefern, welche letztere in bewegtem Gelände ja selbst für genauere Entzerrungen (S 23), besonders aber für eine topographische Arbeit der Bilder nicht entbehrt werden können. Soll diese Ausarbeitung in geeigneten Universalgeräten vorgenommen werden, so ergibt die Benutzung der letzteren das allein zweckmäßige Verfahren der Netzverdichtung (Normalreihen, S 200).

Von wirtschaftlicher Bedeutung ist das SCHEMPFLUG-Verfahren aber zu felloh für ganz flache Gebiete,<sup>2</sup> hier gibt das mit ihm geschaffene Punktnetz eine gute Grundlage für die nachfolgende Bildentzerrung.

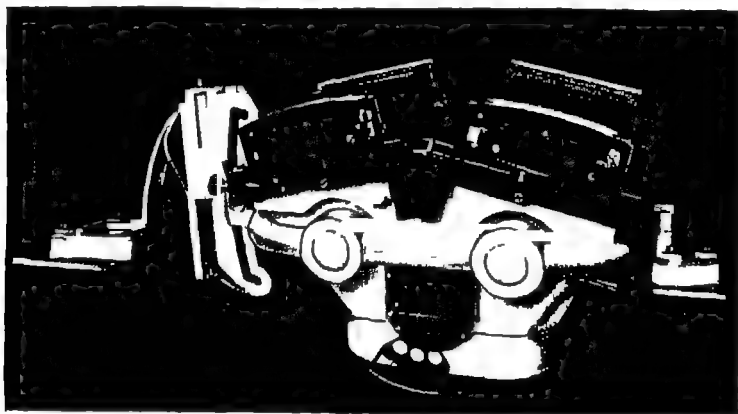


Abb 230 Koppelkammer der AEROTOPOGRAPH G m b H in Dresden

**50. Koppelreihen.** Zu einer Bestimmung der Raumkoordinaten in Netzpunkten innerhalb eines festpunktlosen Raumes kommt man auf rationeller Weise nur durch Ausnutzung des Umstandes, daß durch fortlaufend in Streifenform aufgenommene Meßbilder ein zusammenhängendes Raummodell gegeben ist, dessen Herstellung in einfacher Weise auf optisch-mechanischem Verfahren möglich ist. Ein diesbezügliches Verfahren, das man als Methode der Koppelreihen bezeichnen kann, wurde in allen wesentlichen Einzelheiten zuerst H. WEIDINGER<sup>3</sup> beschrieben. Das Verfahren setzt die Benutzung von stark miteinander verbundenen Meßkammern voraus (Abb 230),<sup>4</sup> deren ge-

<sup>1</sup> Vgl z. B. Aerial photographic mapping, War Department Training regul. 190—27, Washington, Jan 1925.

<sup>2</sup> Steht ein geeignetes Universalgerät zur Verfügung, so wird dieses auch in diesem Falle mit Vorteil benutzt. Das Punktnetz wird hier in fortlaufender Form also nicht nur azimutal, sondern auch radial (s. S 184), unmittelbar und in großer Genauigkeit gefunden.

<sup>3</sup> Mitt. d. Photogrammetrie G m b H in München, 3, 1927.

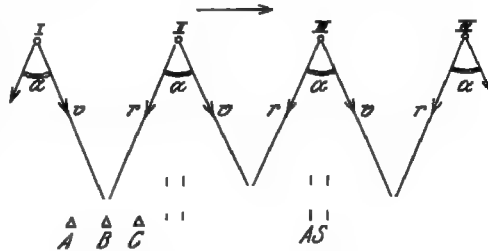
<sup>4</sup> Die für Handgebrauch bestimmte Kammer wurde von den Firmen G. H. bzw. AEROTOPOGRAPH G m b H in Dresden für R. BOSSHARDT gebaut. Über dem vorliegenden Zwecke dienende, von der Firma CARL ZEISS konstruierte optische Filmkammer s. S 155.

ige Lage genau bekannt sein muß (S 164) und deren Verschlüsse mit großer Leichtigkeit gleichzeitig ausgelöst werden. Die durch beide Kammerachsen definierte Ebene liegt dabei in der Flugrichtung und steht im allgemeinen senkrecht. Der Winkel  $\alpha$  zwischen beiden Kammerachsen ist etwas kleiner als der Anstellwinkel  $\omega$  der einzelnen Kammern in Richtung ihrer Achsebene. Die Aufnahmen erfolgen in gleichen, von der Fluggeschwindigkeit und der Flughöhe abhängigen Intervallen, die so bemessen sind, daß die von einem Standpunkt in der Flugrichtung gemachte Aufnahme  $v$  (Abb 231) sich mit der in der gegenengesetzten Richtung gemachten Aufnahme  $r$  vom nachfolgenden Standpunkt aus völlig überdeckt. Man erhält so eine Reihe von Modellabschnitten, die sich in den Anschlußstreifen  $AS$  überdecken, deren Breite von der Differenz

Winkel  $\omega$  und  $\alpha$  abhängt. Die Auswertung geht so vor sich, daß man zuerst die Aufnahmen  $v$  und  $r$  der Standpunkte I und II relativ zueinander (184) orientiert und dann mit Hilfe der gegebenen Festpunkte  $ABC$  auf den geschriebenen Maßstab und in die vorgeschriebene Neigung zum Horizont legt. Da hiernach die absolute Orientierung der Aufnahme II, bekannt ist, läßt sich mit Hilfe der bekannten gegenseitigen Orientierung beider Kammern absolute Orientierung auch der Aufnahme II, berechnen. Die letztere Aufnahme wird nun mit den so erhaltenen Daten in das Auswertegerät gelegt, wonach an sie das Meßbild optisch angepaßt wird. Hält man es die für den Standpunkt II gezielte Flughöhe fest, so ist das aus Aufnahmen II, und III, gebildete Bild nicht nur zum Horizont und zum vorgehenden Modellabschnitt orientiert, sondern es besitzt auch den vor-

hiebigen Maßstab. Zur Kontrolle des letzteren wird man bereits kartierte Punkte heranziehen, die im Anschlußstreifen  $AS$  des Bildpaares  $I_0-II_1$  liegen, der bei diesem Vorgang gefundenen absoluten Orientierung des Maßbildes  $III_1$ , die man — wiederum durch eine rechnerische Zwischenhandlung, — die absolute Orientierung des Maßbildes  $III_1$  ermitteln usw., bis man schließlich zum Bildpaar gelangt, das weitere gegebene Festpunkte enthält, die zur Kontrolle des Arbeitsergebnisses bzw. zu einer Ausgleichung der auftretenden Fehler dienen können.

Das zunächst Bestiehende dieses Verfahrens besteht darin, daß zur optischen Orientierung eine sehr große Bildfläche mit gleichzeitig — für monokulares Warteneinschneiden markanter Punkte jedenfalls — sehr günstigem Verhältniß von Basislänge zur Flughöhe zur Verfügung steht. Die Verwendung der S 155 beschriebenen Ziersehen Doppelkammer ergibt eine Basis, die nahezu so groß ist wie die Flughöhe. Bei der Hervorhebung dieser Vorzüge<sup>1</sup> werden fast stets die großen Nachteile übersehen, die aus der, für eine völlige Bilddeckung und gleichzeitig großes Basisverhältnis selbstverständlich notwendigen, starken Konvergenz  $\alpha$  der Aufnahmen folgen, die bei der erwähnten Doppelkammer  $40^\circ$  beträgt. Eine derartige Konvergenz der Zielstrahlen verkost aber allein schon wegen Überanstrengung des Beobachters eine exakte koskopische Messung — ganz gleichgültig, um welche Art des Ausgetriggertes es sich handelt (vgl. S 98, Anm 2). Das abnorm vergrößerte



**Abb 291 Koppelreihen-Schema**

<sup>1</sup> O v GRUBER, Bildmessg u Luftbildwes 3, 1928, S 141

Basisverhältnis, für das in der terrestrischen Stereophotogrammetrie ein  $V$  von etwa 1 : 10 schon als völlig ausreichend erkannt wurde, bringt also keine Steigerung der Genauigkeit, dagegen ist eine empfindliche Genauigkeitsminderung als Folge des zwischengeschalteten, dabei zeitraubenden Rechnungsganges zu erwarten, der unter anderem die Konstanz der gegenseitigen Orientierung der Kammern voraussetzt und die Einstellung von berechneten Daten ermöglicht, bei der die Feinheiten der vorausgegangenen optischen Orientierung im allgemeinen verloren gehen werden.

Zu den besonders zu beachtenden Nachteilen konvergenter und dagegen die Vertikale geeigneter Aufnahmen gehören die erschwerte oder verbotene Einsicht in Bodenfalten, Waldschneisen usw. und die praktische Unmöglichkeit solche Aufnahmen in nicht völlig ebenem Gelände für das Entzerrungsverfahren zu verwenden. Im übrigen sei darauf hingewiesen, daß der komplizierte Mechanismus, der Raumbedarf und das Gewicht einer Doppelkammer auch flugtechnische Schwierigkeiten mit sich bringen. Praktische Ergebnisse einer Triangulation mit Koppelreihen sind bisher noch nicht veröffentlicht worden.

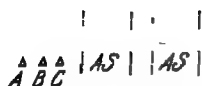
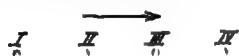


Abb. 232 Normalreihen-Schema

**51. Normalreihen.** Sämtliche oben geschilderten Nachteile des Verfahrens, einen festpunktlosen Raum durch aneinander gereimte Modellabschnitte zu überbrücken, entfallen, wenn man an Stelle der konvergenten Doppelaufnahmen nahezu achsparallele Einzelaufnahmen, im einfachsten Falle also (genäher) Senkrechtaufnahmen verwendet. Die Herstellung artiger „Normalreihen“ geschieht zweckmäßig einem einfachen automatischen Reihenbildner (S. 123) dessen Geschwindigkeitsregler (S. 236) so eingestellt wird, daß die aufeinander folgenden Einzelbilder um etwa 60% überdecken. Diesem Überdeckungsverhältnis entspricht ein mit dem Öffnungswinkel

der Meßkammer wachsendes Basisverhältnis von durchschnittlich 1 : 3, die für die stereoskopische Messung sehr günstige Zielstrahlenkonvergenz etwa  $18^\circ$  (Abb. 232). Auch hier werden die Aufnahmen I und II zueinander gegenseitig orientiert, worauf das daraus sich ergebende Modell mit Hilfe dieser Festpunkte  $ABC$  auf den vorgeschriebenen Maßstab gebracht und horizontalisiert wird. Im Anschluß an das jetzt absolut orientierte Meßbild ergibt sich unmittelbar die absolute Orientierung der Aufnahme im Startpunkt III durch rein optische Anpassung. Das aus den Meßbildern II und III resultierende und nun bereits orientierte Modell hat auch den vorgeschriebenen Maßstab, wenn bei der Relativanpassung die mechanisch gegebene Flughöhe des Standpunktes II festgehalten wurde. Zur Kontrolle des Maßstabs wird man natürlich auch hier Punkte heranziehen, die im schlußstreifen  $AS$  des bereits hergestellten Modells aus den Aufnahmen I und II liegen. Das Verfahren kann über eine gewisse Strecke fortgesetzt werden, mehr im letzten Aufnahme-paar dieser Reihe abgebildete Festpunkte ermöglichen dann auch hier eine Arbeitskontrolle bzw. Fehlerausgleichung.

Ein Nachteil dieses Verfahrens gegenüber dem Verfahren der Koppelreihen besteht scheinbar darin, daß bei ihm zur Überbrückung einer bestimmten Strecke (bei ungefähr gleicher Anzahl der Aufnahmen) etwa doppelt soviel Modellabschnitte aneinander zu reihen sind. Ein wirtschaftlicher Nachteil (etwa die Verlängerung der Arbeitsdauer) wird durch diesen Umstand nicht bedingt, da die rein optische Anpassung mindestens doppelt so schnell durchzuführen ist wie die optische Anpassung einschließlich der beim Koppelverfahren

ndigen zwischengeschalteten Orientierungsberechnung Wohl steht aber zu fürchten, daß jetzt durch die vergrößerte Zahl der Anreihungen wegen der jeder derselben möglichen Fehler ein wesentlich größerer Abschlußfehler tritt als beim Koppelverfahren. Bei letzterem resultieren die Fehler der Anreihung hauptsächlich daraus, daß die aus Ablesungen an den Kreisen des Orientierungsgerätes berechneten Orientierungsdaten der zweiten Koppelaufnahme leicht eingestellt werden müssen, es ist praktisch unmöglich, daß eine so leichte indirekte Orientierung noch die gleichen Feinheiten aufweist, wie sie der unmittelbaren optischen Anpassung der ersten Koppelaufnahme erhalten werden. Ähnliche Fehler treten zunächst auch bei Normalreihen auf, hier nämlich die absolut orientierte Platte z. B. II, die etwa im rechten Bildträger des Kartierungsgerätes liegen soll, vor der Anpassung des Bildes III in den linken (linken) Bildträger einzulegen, da ja die Folgebilder im Kartierungsgerät zur Erzeugung des optischen Modells in der gleichen Lage zu einander angeordnet werden müssen, die sie bei der Aufnahme hatten. Diese Bildumlegung kann durch eine Verkantung um  $180^\circ$  ersetzt werden kann, vgl. unten, Anm. 2), erfordert aber eine Ablesung der gefundenen Orientierungsdaten und eine Wiedergabe derselben, bedingt also ebenfalls eine Vernichtung der Orientierungsfeinheiten. Hier hat nun R. HUGENSHOFF<sup>1</sup> eine optische Einrichtung zur Umkehrung des Stereoeffektes angegeben (vgl. auch S. 85 und S. 103), die in Verbindung mit einer entsprechenden Verstellbarkeit des Bildschlittens des Orientierungsgerätes gestattet, das absolut orientierte Meßbild, z. B. II, unumkehrbar<sup>2</sup> in seinem Bildträger zu lassen und das nun standortverkehrt eingelegte Folgebild z. B. III, direkt, also ohne jede Zwischenschaltung von Ablesungen und Einstellungen, an das orientierte Bild anzupassen. Hierdurch wird von einer weiteren Beschleunigung des Arbeitsganges eine derartige Veränderung der Anreihungsfehler erzielt, daß die Vergrößerung der Modellzahl bedeutungslos wird. Diese zunächst theoretischen Erwägungen werden vollaufgeklärt durch die Praxis (s. S. 215) bestätigt.

Daß das Verfahren hinsichtlich der Lage der neu bestimmten Punkte gute Resultate ergeben muß, folgt schon aus den über die Genauigkeit des Nadirpunktverfahrens angestellten Betrachtungen, hier kommt hinzu, daß das Verfahren der Normalreihen eine Verfeinerung der Nadirpunkttriangulation darstellt, als die Lagekoordinaten nicht aus nur teilweise (nämlich mutual), sondern aus vollkommen orientierten Bildern entnommen werden. Auch hinsichtlich der sehr wichtigen Höhen der Neupunkte sind gute Ergebnisse weiter zu erwarten und auch zu erzielen, wenn das Kartierungsgerät einwandfrei justiert und das Ausgangsbildpaar sorgfältig orientiert wurde und wenn auf S. 191 gemachten Bemerkungen bezüglich der Deformationskomponenten der Vertikalparallaxen beachtet werden. Die verhältnismäßig große Größe des Anschlußstreifens AS (Abb. 232) — etwa 33% des stereoskopischen Feldes gegen 14% beim Koppelreihenverfahren mit  $40^\circ$  Konvergenz — ermöglicht die Elimination dieser Komponenten in weitgehendem

<sup>1</sup> R. HUGENSHOFF, Der Autokartograph, eine neue Ausführungsform d. Autostereographen. Vorträge, gehalten bei der 2. Hauptversammlung der Int. Ges. f. Photogramm., Juni 1927.

<sup>2</sup> Die Bemerkung O. v. GRUBERS (a. a. O., S. 144) „beim Stereoplanograph wird gleiche Effekte erzielt, indem das Bild 2 um  $180^\circ$  verkantet und Haupt- und Querachse entgegengesetzt eingestellt werden“, ist natürlich nur in optischer, nicht aber in auswertetechnischer Beziehung zutreffend, durch Neuemstellung der abgelesenen Daten werden selbstverständlich auch hier die Orientierungsfeinheiten zerstört.



Abb 233 Beispiel einer Aerotriangulation nach dem Normalreihen-Verfahren (Elbestrecke Dresden-Meißen)

Maße<sup>1</sup> Nach den bisherigen Erfahrungen können etwa zehn Bilder (denen je nach dem vom Kartenmaßstab abhängigen Bildmaßstab verschieden große Streifenlängen entsprechen) aneinander gereiht und gleichzeitig kartiert werden, da die bei der angegebenen Bildzahl auftretenden Schlußfehler meist nur die Folge einer geringen und nur in der Lagezeichnung sich auswirkenden Maßstabsänderung sind, die bei der Reproduktion mechanisch eliminiert wird.

Bei längeren Bildreihen können unter Umständen (meist als Folge der Deformationsparallaxen, S 191), Höhenfehler mit systematischem Charakter bemerkbar werden, entsprechend vor allem einer allmählichen Zunahme der Langsneigungs-(Verschwenkungs-)fehler der Folgebilder. Die mechanische Eliminierung bzw. Ausgleichung dieser Fehler und gegebenenfalls eine nachfolgende entsprechende Neuorientierung der Bilder ist theoretisch möglich. Praktisch vorteilhafter ist es aber im allgemeinen, das Auftreten solcher Fehler zu verhindern durch Messung nur der Höhe einzelner, weit auseinander liegender, gut identifizierter Geländepunkte durch ein fluchtiges (geometrisches oder barometrisches) Nivellement, vgl. hierzu auch S 231.

Abb 233 ist ein Bildplan aus Aufnahmen einer Versuchareihe zwischen Dresden und Meißen<sup>2</sup>. Auf der mit zehn Bildern überbrückten 4,3 km langen Strecke zeigten sich keinerlei meßbare Höhenabweichungen (vgl. S 216) des optischen Modells gegenüber dem als Kontrollbasis benutzten Stromapiegel<sup>3</sup>.

## VIII. Genauigkeit des Verfahrens

Die bereits auf S 49 gemachten allgemeinen theoretischen Bemerkungen über die Genauigkeit des photogrammetrischen Vorwärtsschneidens bedürfen noch einiger weiterer Ausführungen.

<sup>1</sup> Der von P. GAST, Zs f Verm 58, 1920 S 614, ausgesprochene Satz, „An dieser Kippe (den gefährlichen Zylinder) scheitert der Versuch fest punktförmige Räume durch sich überlappende Senkrechtaufnahmen zu überbrücken“, ist weder theoretisch noch praktisch haltbar.

<sup>2</sup> Aufnahmen mittels des Reihenbilders Abb 186, S 152, ausgeführt im September 1929 von der Luftbildabteilung der JUNKERS WERKE.

<sup>3</sup> Über ein sehr gutes Ergebnis einer Aerotriangulation nach dem gleichen Verfahren (Streckenlänge 15 km) berichtet die U S A Geological Survey, vgl. auch The Military Eng., 21, 1929, S 468.

beziehen hierzu die Raumlage der photogrammetrisch bestimmten Objektpunkte auf ein rechtwinkliges Koordinatensystem, dessen Ursprung im Mittelpunkt der Aufnahmebasis liegt (vgl. Abb. 237, S. 204) und dessen  $y$ -Achse (Abstandsachse) horizontal und winkelrecht zur Horizontalprojektion der Basis ist. Die Horizontalprojektion selbst dient als  $x$ -Achse (Seitenachse), während die Lotrichtung im Ursprung als  $z$ -Achse (Höhenachse) endet wird<sup>1</sup>. Dann denken wir uns die Raumpunktlage zunächst nur der Annahme völlig fehlerfreier Richtungsmessungen bestimmt und berechnen nun die Koordinatendifferenzen  $\Delta y$ ,  $\Delta x$ ,  $\Delta z$  ab, die sich ergeben, wenn die bestimmenden Richtungen mit Fehlern behaftet sind. Kennt man diese Fehler, so lassen sich aus ihnen die Koordinatenfehler der Raumpunkte berechnen.

Dieses auf fehlertheoretischen Betrachtungen aufgebaute Verfahren ist wichtig zur Ermittlung der zu erwartenden Genauigkeit, es ist aber nur ein Abschätzungsverfahren, da ja die tatsächlich auftretenden Richtungsfehler sich allgemein nur auf Grund besonderer Messungen und meist nur unvollständig ermitteln lassen. Die tatsächliche Genauigkeit ergibt sich entweder unmittelbar durch Überbestimmung oder unmittelbar durch Vergleich der Koordinaten von Raumpunkten, die photogrammetrisch und außerdem durch anderweitig fehlerfreie anderweitige Beobachtungen festgelegt wurden.

### A. Theorie der Objektpunktfehler

**52 Koordinatenfehler als Funktion der Punktlage und der Fehler der bestimmenden Richtungen.** Es ist zweckmäßig, sich vorzustellen, daß die Festlegung der Raumpunkte nach der in der Tachymetrie gebräuchlichen Art, nämlich mittels Polarkoordinaten, erfolgte. Die Bestimmungsstücke sind dann die Entfernung  $E$  des betrachteten Raumpunktes vom Koordinatenursprung, der Horizontalwinkel  $\alpha$  dieser Richtung gegen die Richtung der  $y$ -Achse und ihr Neigungswinkel  $\tau$  gegen die horizontale  $xy$ -Ebene, die Entfernung  $E$  ist dabei das Bild eines Vorwärtshinmittels. Entsprechend

Abb. 234 zeigt im Grund- und Aufriß den Einfluß eines ausschließlichen

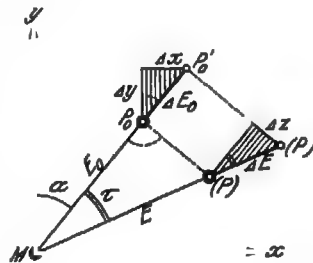


Abb. 234 Einfluß eines Entfernungfehlers

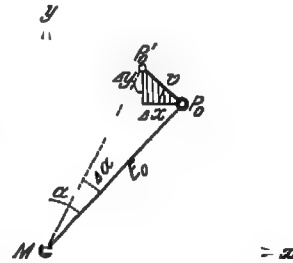


Abb. 235 Einfluß eines Fehlers der Horizontalrichtung

von mehreren Komponenten, die von den Fehlern  $\Delta E$ ,  $\Delta \alpha$  und  $\Delta \tau$  entsprechenden drei Bestimmungsstücke abhängen. Darin ist  $\Delta E$  inhaltlich (vgl. S. 50) eine Funktion des Fehlers  $\Delta y$  der Richtungsrichtung der den betrachteten Objektpunkt vorwärts einschneidenden Bildstrahlen. Die Herleitung der Fehlerkomponenten erfolgt zweckmäßig getrennt.

234 zeigt im Grund- und Aufriß den Einfluß eines ausschließlichen

<sup>1</sup> Die folgenden Betrachtungen gelten unmittelbar für wagrechte und schräge Aufnahmen, sie gelten aber — nach einer entsprechenden Koordinatenvertauschung, vgl. Abb. 8 — auch für Steil- und Senkrechtaufnahmen. Vgl. hierzu noch RAU, Schweiz. ZS. f. Verm. 20, 1928, S. 250.



wirksamen Entfernungsfehlers  $\Delta E$  An Hand der Abb 234 ergibt

$$\left. \begin{aligned} \Delta y_E &= \Delta E_0 \cos \alpha \\ \Delta x_E &= \Delta E_0 \sin \alpha \\ \Delta z_E &= \Delta E_0 \operatorname{tg} \tau \end{aligned} \right\}$$

Aus Abb 235 ersieht man die Einwirkung einer durch einen Fehler  $\Delta \alpha$  horizontalen Richtung bewirkten Querverschiebung  $v$  auf die Koordinaten und  $x$  Es ist

$$\left. \begin{aligned} \Delta y_a &= v \sin \alpha = E_0 \sin \alpha \Delta \alpha \\ \Delta x_a &= v \cos \alpha = E_0 \cos \alpha \Delta \alpha \end{aligned} \right\}$$

In Abb 236 ist der Zusammenhang eines Fehlers  $\Delta \tau$  des Neigungswinkels mit den Fehlern der Raumpunktkoordinaten ebenfalls im Grund- und

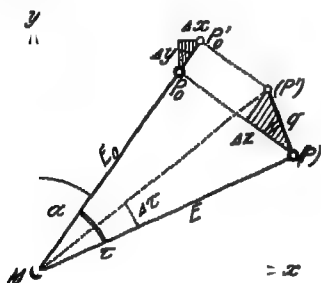


Abb 236 Einfluß eines Fehlers in der Vertikalrichtung

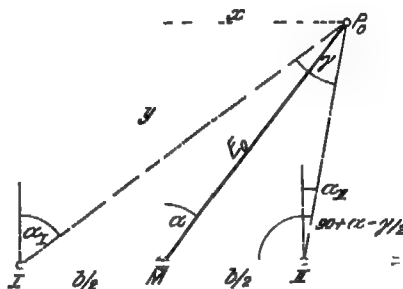


Abb 237 Ableitung des Entfernungsfehlers

Aufluß dargestellt Der Vertikalwinkelfehler bewirkt eine Querverschiebung  $q$  Punktes  $P$  im vertikalen Sinne, aus der folgt

$$\left. \begin{aligned} \Delta y_\tau &= q \sin \tau \cos \alpha = \frac{E_0}{\cos \tau} \sin \tau \cos \alpha \Delta \tau = E_0 \operatorname{tg} \tau \cos \alpha \Delta \tau \\ \Delta x_\tau &= q \sin \tau \sin \alpha = \frac{E_0}{\cos \tau} \sin \tau \sin \alpha \Delta \tau = E_0 \operatorname{tg} \tau \sin \alpha \Delta \tau \\ \Delta z_\tau &= q \cos \tau = \frac{E_0}{\cos \tau} \cos \tau \Delta \tau = E_0 \Delta \tau \end{aligned} \right\}$$

Da nun

$$\left. \begin{aligned} \Delta y &= \Delta y_E + \Delta y_a + \Delta y_\tau \\ \Delta x &= \Delta x_E + \Delta x_a + \Delta x_\tau \\ \Delta z &= \Delta z_E + \Delta z_\tau \end{aligned} \right\}$$

so ergibt sich — mit Berücksichtigung der zwischen den Bestimmungselementen  $E$ ,  $\alpha$  und  $\tau$  des Punktes  $P$  und seinen Raumkoordinaten  $y$ ,  $x$  und  $z$  bestehenden Beziehungen — aus den Systemen (1) bis (4)

$$\left. \begin{aligned} \Delta y &= \frac{y}{E_0} \Delta E_0 + x \Delta \alpha + \frac{z}{E_0} \frac{y}{x} \Delta \tau \\ \Delta x &= \frac{x}{E_0} \Delta E_0 + y \Delta \alpha + \frac{z}{E_0} \frac{x}{y} \Delta \tau \\ \Delta z &= \frac{z}{E_0} \Delta E_0 + E_0 \Delta \tau \end{aligned} \right\}$$

worin

$$E_0 = \sqrt{y^2 + x^2}$$

Ableitung des Entfernungsfehlers  $\Delta E_0$  benutzt man (Abb 237) die Beziehung

$$E_0 = \frac{b}{2} \frac{\sin\left(90^\circ + \alpha - \frac{\gamma}{2}\right)}{\sin \frac{\gamma}{2}} \quad (a)$$

$$E_0 = \frac{b \cos \alpha}{\gamma}, \quad (b)$$

aus zunächst folgt

$$\Delta E_0 = - \frac{b \cos \alpha}{\gamma^2} \Delta \gamma \quad (c)$$

es ergibt sich in Verbindung mit (b)

$$\Delta E_0 = - \frac{E_0^2}{b \cos \alpha} \Delta \gamma \quad (d)$$

Setzt man diesen Wert unter Berücksichtigung der Beziehung

$$\cos \alpha = \frac{y}{E_0}$$

ins System (5) ein, so erhält man

$$\left. \begin{aligned} \Delta y &= - \frac{E_0^2}{b} \Delta \gamma + x \Delta \alpha + \frac{y}{E_0} \Delta \tau \\ \Delta z &= - \frac{E_0^2}{b} \frac{x}{y} \Delta \gamma + y \Delta \alpha + \frac{x}{E_0} \Delta \tau \\ \Delta z &= - \frac{E_0^2}{b} \frac{z}{y} \Delta \gamma + E_0 \Delta \tau \end{aligned} \right\} (6)^1$$

Der  $\Delta \gamma$  offenbar die Differenz der Richtungsfehler  $\Delta \alpha_I$  und  $\Delta \alpha_{II}$  der beobachteten horizontalen Richtung  $IP_0$  und  $IIP_0$  ist, während  $\Delta \alpha$  den Verschwenkungs- (Orientierungs-) fehler des Mittelstrahles  $MP_0$  (genähert  $\frac{\Delta \alpha_I + \Delta \alpha_{II}}{2}$ )

darstellt. Ähnlich ist  $\Delta \tau$  als Mittel der Neigungsfehler der beiden bestimmenden Strahlen aufzufassen, es ist also  $\Delta \tau$  ebenfalls eine Art Orientierungsfehler. Im System (6) nicht berücksichtigte Differenz der Neigungsfehler ist, die Faktoren  $\frac{y}{E_0}$  bzw.  $\frac{x}{E_0}$  zeigen, ebenso wie ein (kleiner) Fehler  $\Delta \tau$  prak-

im allgemeinen ohne Einfluß auf die Horizontalprojektion der Objekte, sie führt dagegen (vgl. auch Abb 216) zu zwei verschiedenen Höhen Objektpunktes, deren Differenz

$$z_I - z_{II} = E_0 (\Delta \tau_I - \Delta \tau_{II})$$

1 (teilweisen) Aufschluß über die erzielte Genauigkeit gibt, vgl. S 210<sup>2</sup>. Durch das System (6) sind also mit Berücksichtigung der oben gemachten Erörterungen praktisch alle Fehlereinflüsse erfaßt bis auf einen Fehler in der

<sup>1</sup> Diese Feldergleichungen gelten ganz allgemein, also auch für den Normalfall Stereophotogrammetrie, s. S 54, die hierfür — meist unter Vernachlässigung Fehler  $\Delta \alpha$  und  $\Delta \tau$  — aufgestellten Formeln (vgl. z. B. H. LÜSCHER, Photogrammetrie, Leipzig und Berlin 1920) lassen sich leicht aus den oben aufgestellten ableiten.

<sup>2</sup> Im übrigen ist zu beachten, daß die praktische Anwendung des Systems (6) Kenntnis der Fehler nach Größe und Vorzeichen voraussetzt. Sind die Fehler, meist in der Praxis, sog. „mittlere“ Fehler mit unbestimmtem Vorzeichen, so ergeben sich die Quadrate der mittleren Koordinatenfehler als Summe der Quadrate einzelnen Glieder des oben angegebenen Systems. Vergleiche hierzu W. JORDAN und O. KÖHLER, Hdb. d. Vermessungskde., Bd 2, Stuttgart 1914.

Basislänge und im Höhenunterschied der Standpunkte. Da diese Einflüsse das rekonstruierte Objekt im ganzen (hinsichtlich des Maßstabes) verändern bzw. in allen Objektpunkten die gleiche (konstante) Abweichung erzeugen, sind sie vom praktischen Standpunkt aus von nebensächlicher Bedeutung; es genügt nämlich im Prinzip die Kenntnis der relativen räumlichen Lage zweier Kontrollpunkte, um diese Einflüsse zu eliminieren. Dementsprechend haben auch Untersuchungen über die Genauigkeit der Standpunktbestimmung (S. 171 Anm. 1) im wesentlichen nur theoretisches Interesse.

**53 Die Komponenten der Richtungsfehler  $\Delta\alpha$  und  $\Delta\tau$**  Der Fehler einer Richtungs-messung ergibt sich aus der Zusammenwirkung einer Anzahl von Komponenten,<sup>1</sup> die man in vier Gruppen zusammenfassen kann, nämlich: Beobachtungs-, Identifizierungs-, Orientierungs- und Übertragungsfehler.

a) Beobachtungsfehler sind die Folge einer Unsicherheit in der „Einstellung“, d. h. in der Herbeiführung der Koinkidenz zwischen einem festen Punkt (im allgemeinen einer Zielmarke) und einem Punkte des Meßbildes, sie gehören im wesentlichen zu den „zufälligen“ Fehlern, die ebensowohl positiv als negativ sein können. Die Einstellung der Bildpunkte erfolgt selten unmittelbar (graphische Koordinatenmessung an Bildabzügen), meist wird sie an den optisch erzeugten und vergrößerten Reproduktionen des Meßbildes vorgenommen, wobei notwendig ein Luftbild unter Zuhilfenahme einer Lupe (Mikroskop- oder Fernrohrbeobachtung) oder eine Projektion auf eine reelle Schirmebene mit oder ohne optische Hilfsmittel (Doppelprojektion mit direkter oder subjektiver Bildvereinigung) betrachtet wird.

Die Größe des Beobachtungsfehlers hängt zunächst und selbstverständlich von der Güte des Originalbildes und von der Fähigkeit des Beobachters ab. Der Beobachtungsfehler sinkt mit wachsender Bildweite der Aufnahmekammer, er sinkt ferner bei wachsender Vergrößerung der Reproduktion, aber nur so lang, als die Reproduktionsschärfe, die beim Doppelprojektionsverfahren schon aus theoretischen Gründen (Nichteinhaltung des sogenannten „Linsengesetzes“ mangelhaft ist, unter dem Einfluß des mitvergrößerten Emulsionskornes (S. 11) nicht leidet. Eine etwa fünffache Vergrößerung ist zur Zeit die günstigste Vergrößerung, unterhalb derselben wächst der Beobachtungsfehler langsam, oberhalb derselben rasch.<sup>2</sup> Eine Ausnahme bilden nur durch Form und Kontrast scharf markierte Bildpunkte, vgl. aber hierzu die spätere Betrachtung über Orientierungsfehler.

Der reine Beobachtungsfehler einer einzelnen einmal gemessenen Richtung bei Messungen an Papierabzügen<sup>3</sup> und 180 mm Bildweite der Aufnahmekammer beträgt etwa 1' bis 2', bei Mikroskop- oder Fernrohrbeobachtung<sup>4</sup> sinkt er auf 15'' bis 20''.

b) Identifizierungsfehler sind als Komponenten der Richtungsfehler im allgemeinen nur in der Meßtischphotogrammetrie wirksam, bei der infolge

<sup>1</sup> Da die Komponenten teilweise zufällige Fehler sind, teilweise aber systematischen Charakter tragen, kann ihre Vereinigung nicht durch einfache Addition erfolgen. Über Einzelheiten hierzu muß auf die Fachliteratur verwiesen werden, vgl. W. JORDAN und O. EGGER, *Hdb. d. Vermessungskde.*, Bd. 2.

<sup>2</sup> Bei einzelnen Doppelprojektoren ergeben sich aus konstruktiven Gründen wesentlich stärkere Vergrößerungen des Originalbildes (z. B. Reproduktionsmaßstab 1:1000 bei einem Bildmaßstab 1:10000), hier kommt der Punktlage selbstverständlich eine wesentlich größere Unsicherheit zu als sie bei einer Karte im Maßstab 1:1000 zulässig wäre.

<sup>3</sup> Vgl. z. B. A. v. HUBR, *Mitt. d. militärgeogr. Inst. Wien* 19, 1899, S. 131.

<sup>4</sup> R. HUGERSHOFF und H. CRANZ, *Grundr. d. Photogrammetrie u. Luftfahrzeug* S. 4.

starken Konvergenz der Aufnahmerichtungen die Objektpunkte von verschiedenen Seiten zur Abbildung kommen. Dementsprechend hängt nicht allgemein angebbare Größe — sie kann unter Umständen mehrere Minuten betragen — der Identifizierungsfehler ab von Form, Hintergrund und Beleuchtung der Objektpunkte. In der terrestrischen Meßtischphotogrammetrie spielen erklärlicherweise auch die Beleuchtungsdifferenzen eine wesentliche Rolle, die durch die Änderung des Sonnenstandes während des Standpunktwechsels bedingt sind. Wegen der Zunahme der Konvergenz der Bestimmungsstrahlen im Vordergrund des Bildfeldes besteht eine Abhängigkeit der Identifizierungsfehler vom Abstand der Objektpunkte von der Basis, die Komponente nimmt ab mit wachsendem Punktabstand. Dieser Umstand steht im Gegensatz zu der bei der Ableitung der Koordinatenfehler (vgl. S. 205) zunächst, Recht gemachten Voraussetzung der Unabhängigkeit des Richtungsfehlers von der Punktentfernung, infolgedessen wachsen vor allem in der Meßtischphotogrammetrie häufig die Koordinatenfehler, insbesondere die Fehler in  $\Delta y$  und  $\Delta z$ , nicht in dem theoretisch zu erwartenden Maße.<sup>1</sup>

c) Orientierungsfehler sind diejenigen Richtungsabweichungen der Objektstrahlen gegen die entsprechenden Objektstrahlen (gerade Verbindungsstrahlen der Objektpunkte mit dem vorderen Hauptpunkt des Kammerobjektivs Augenblick der Aufnahme), deren Ursachen in gesetzmäßiger Weise das gesamte Strahlenbüschel beeinflussen. Dabei kann letzteres dem Objektstrahlenbüschel kongruent bleiben (Buscheldrehung, eigentliche Orientierungsfehler) oder nicht (Buscheldeformation). Der Definition entsprechend handelt es sich im wesentlichen um systematische Fehler mit Resten von unregelmäßigem Charakter.

a) Buscheldrehungen, ausschließlich eine Folge mangelhafter äußerer Orientierung,<sup>2</sup> können um drei Achsen erfolgen: Kammerachse (Verkantung), Horizontachse winkelrecht zur Kammerachse (Neigung) und Vertikalachse (Verschwenkung). Eine Verschwenkung wirkt im gleichen Sinne und in gleicher Größe auf alle Horizontalrichtungen und ist ohne Einfluß auf die Vertikalrichtungen. Verkantung und Neigung beeinflussen beide Richtungen (S. 177).

β) Buscheldeformationen ändern im allgemeinen ebenfalls beide Richtungen und unterscheiden asymmetrische Deformationen (Verzeichnungsfehler der Aufnahmeobjektives (S. 108), Verzeichnungsfehlerdifferenzen (letztere bei Kartierungen in Universalgeräten), Bildweitenfehler (S. 158), Schrumpfungen des Aufnahmematerials (S. 116),<sup>3</sup> Krümmung des Emulsionsträgers (S. 115), Strahlenlenkung (S. 67) bei Senkrechtaufnahmen) und asymmetrische Deformationen (Aufnahmepunktverlagerung, Bildneigung gegen die Kammerachse, Strahlenbrechung bei Schrägaufnahmen, Relativbewegung von Kammer und Objekt während Dauer der Verschlussöffnung, Relativbewegung einzelner Objektpunkte zueinander während des Standpunktwechsels).

Die letzterwähnten Fehlerursachen sind sehr schädlich. So erzeugt eine Wacklung besonders bei markanten, hell beleuchteten Objektpunkten eine

<sup>1</sup> S. FINSTERWALDER, ZS f. Verm. 25, 1896, S. 225, A. v. HUBER, Mitt. d. Militär-Inst. Wien 19, 1899, S. 129, I. SCHUECK, Einfache u. stereoskop. Bildmess. im Geländegebiet, München 1912, K. SCHNIDER, Ergebn. stereophotogramm. Aufn. Schweiz, Brugg 1926, S. 65.

<sup>2</sup> Bedingt durch Koordinatenfehler der Festpunkte und durch Identifizierungs- und Beobachtungsfehler bei Einstellung derselben.

<sup>3</sup> Schichtverzeichnungen an Glasplatten dürften kaum in Erscheinung treten, die solche zurückgeführten Fehler (K. DOMANSKY, Int. Arch. f. Photogram. 6, 1, S. 105), sind wahrscheinlich Verzeichnungsfehler.

Bildverbreiterung, die sich als Abstandsfehler auswirkt. Abb 238 gibt hier ein in der Reproduktion allerdings nicht mehr sehr deutliches Beispiel. Im Originalbildpaar scheint die mit der Umgebung völlig gleich hohe Straße fast 16' über dieser Umgebung zu liegen. Ebenso erscheinen künstliche Signale (z. B. weißgestrichene Bretterkreuze) oft meterhoch außerhalb der Geländefläche. Messungen an windbewegten, einzelstehenden Bäumen ergaben bei Senkrechtaufnahmen oft beträchtliche Höhenfehler, die Fläche eines Flusses, auf dem Dampfer starke Uferwellen erzeugen, scheint ebenfalls oft gegen das Ufergelande in vertikalem Sinne verschoben. Diese Beobachtungen liefern wertvolle Fingerzeige für die Auswahl der Festpunkte: grell beleuchtete markante Objekte und Spitzen einzelner Bäume sind ungeeignet, die auch aus anderen Gründen unzweckmäßige kunsthohe Signalisierung von Bodenpunkten ist zu vermeiden.

Im allgemeinen wird der gesamte, auf Orientierungsfehler zurückzuführende Anteil am Richtungsfehler ebenfalls leicht auf mehrere Bogenminuten anwachsen.

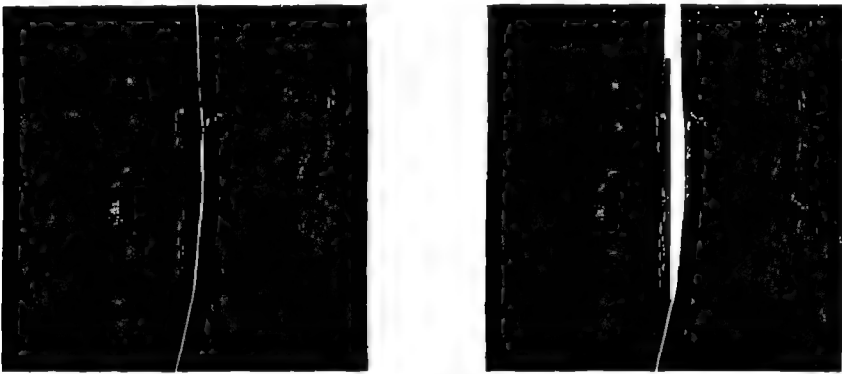


Abb 238 Durch Verwacklung hervorgerufene Bildverbreiterung wirkt sich als Abstandsfehler aus. Man beachte, wie die mit der Umgebung gleich hohe Straße gehoben erscheint.

Falls es sich um die Einzelorientierung eines Maßbildes handelt, bei der die gemeinsame Orientierung eines Bildpaares (S 184) dagegen beträgt der Fehler erfahrungsgemäß kaum mehr als eine Minute.

d) Übertragungsfehler sind die durch den Rekonstruktionsvorgang erzeugten Fehleranteile, sie entfallen also bei rein rechnerischer Bestimmung Objektpunktkoordinaten und treten beim Verfahren der Doppelprojektion in geringem Maße — als Fehler der Höhenmeßeinrichtung — auf. Die Übertragungsfehler gliedern sich in systematische Fehler, hervorgerufen durch Justierungsfehler<sup>1</sup> des Kartierungsgerätes im weiteren Sinne<sup>2</sup> und in zufällige Fehler, die im wesentlichen aus nicht zügigen Führungen bzw. toten Gängen der Rekonstruktionselemente folgen. Bei den modernen Universalgeräten kann bei sorgfältiger Anwendung der verfeinerten Justierungsmethoden entsprechend hohen Stand der Feinmechanik auch der Übertragungsfehler im Durchschnitt unterhalb von etwa 1' bis 2' gehalten werden.

<sup>1</sup> Vgl. z. B. H. LÜSCHER, ZS f. I. 39, 1919, S. 2.

<sup>2</sup> Solche Fehler können auch durch Temperatureinflüsse hervorgerufen werden. Vgl. hierzu A. v. HÜBL, Mitt. d. Militärgеогр. Inst. Wien 23, 1903, S. 188; H. KRAUS, Int. Arch. f. Photogram. 4, 1913, S. 20.

**54 Der Fehler  $\Delta\gamma$  einer Richtungsdivergenz.** Entsprechend der auf S 205 gegebenen Definition des Fehlers  $\Delta\gamma$  einer Richtungsdivergenz  $a_I - a_{II}$  gilt nachst

$$\Delta\gamma = \Delta a_I - \Delta a_{II} \quad (1)$$

Die Richtungsfehler  $\Delta a$  setzen sich, wie eben im einzelnen gezeigt wurde, aus allen (unregelmäßigen) Komponenten  $\pm u', \pm u''$  und aus systematischen (regelmäßigen), mit bestimmtem angebbarem Vorzeichen behafteten Komponenten  $r', r''$  zusammen. Somit folgt aus (1)

$$\Delta\gamma = (\pm u'_I \pm u'_{II}) + (\pm u''_I \pm u''_{II}) + (r'_I - r'_{II}) + (r''_I - r''_{II}) \quad (2)$$

mit erhält man<sup>1</sup>

$$= \pm \sqrt{u'^2_I + u'^2_{II} + u''^2_I + u''^2_{II} + (r'_I - r'_{II})^2 + (r''_I - r''_{II})^2} \quad (3)$$

in allgemeiner Form

$$\Delta\gamma = \pm \sqrt{\Sigma u^2 + \Sigma (r_I - r_{II})^2} \quad (4)$$

Mehrzahl der systematischen Fehleranteile  $r$ , insbesondere aber die aus Formationen des Bildstrahlenbuschels hervorgegangenen Anteile, sind an der gleichen Stelle zweier zusammengehöriger Aufnahmen nach Größe und Vorzeichen einzuordnen. Infolgedessen wird bei Aufnahmen mit kleinem Basisverhältnis, bei solchen mit schwacher Konvergenz der Zielstrahlen, das Glied  $\Sigma (r_I - r_{II})^2$  einzu verschwinden, während bei starker Konvergenz, bei der identische Bildpunkte große Lageverschiedenheiten in beiden Meßbildern aufweisen, das die erste  $r$  enthaltende Glied beträchtliche Werte annehmen kann, vor allem auch Einfluß auf die im wesentlichen nur hier auftretenden Identifizierungsfehler ergibt sich also näherungsweise für stark konvergente Aufnahmen

$$\Delta\gamma = \pm \sqrt{\Sigma u^2 + \Sigma (r_I - r_{II})^2} \quad (4)$$

für schwach konvergente Aufnahmen

$$\Delta\gamma = \pm \sqrt{\Sigma u^2} \quad (5)$$

Tatsache, daß bei letzteren der Fehler einer Richtungsdivergenz wesentlich kleiner ist als bei ersteren, bewirkt allerdings, wie bereits auf S 50 ausgeführt wurde und wie das Gleichungssystem (6) auf S 205 eingehend zeigt, nur dann eine Genauigkeitssteigerung in der Bestimmung der Objektpunktkoordinaten, wenn bei den schwach konvergenten Aufnahmen mit ihrem entsprechend kleinen Basisverhältnis gleichzeitig auch das Glied  $\Sigma u^2$  eine wesentliche Reduktion erfährt. Das aber ist (vgl. S 52) der Fall bei binokularer Beobachtung der Richtungen  $a_I$  und  $a_{II}$  und der damit verbundenen unmittelbaren Messung der Richtungsdivergenz  $\gamma$ . Während bei monokularer, getrennter Beobachtung der Richtungen der unregelmäßige Anteil bei einer Kammerbildweite von 180 mm auch im günstigsten Falle nicht kleiner als  $\pm 35''$  ist, beträgt er bei gleichen Verhältnissen bei binokularer Beobachtung eines Modellpunktes etwa  $\pm 10''$ .

<sup>1</sup> Vgl. z. B. W. JORDAN und O. LOGERT, Hdb. d. Vermessungskde., Bd. 1, Stuttgart 1914.

Der Fehler ist allerdings größer bei der kontinuierlichen Abtastung des Modells (autom. Schichtenzeichnung in Kartierungsgeräten), er wächst hier wesentlich mit der Geschwindigkeit der Zeichnung und in Abhängigkeit von der individuellen Befähigung des Beobachters.

## B. Ergebnisse praktischer Untersuchungen

**55. Ableitung der Objektpunktfehler aus überschüssigen Messungen.** D sich beim photogrammetrischen Vorwärtseinschneiden eines Objektpunkts von 2, bzw.  $n$  Standpunkten aus für die Höhe des beobachteten Objektpunkts eine (S 37) bzw.  $n - 1$  Überbestimmungen ergeben, liegt es nahe, die hier auftretenden Beobachtungsdifferenzen zu einer Genauigkeitsprüfung zu benutzen.

Derartige Untersuchungen wurden zuerst von C. KOPPE<sup>1</sup> an einer Aufnahme des Roßtrappfelsens im Harz und dann an Hand eines sehr umfassenden Materials nach Aufnahmen des Vernagtferners im Ötschtal von S. FINSTERWALDER<sup>2</sup> durchgeführt. Ersterer erhielt ( $f = 238$  mm, durchschnittliches Basisverhältnis 1 durchschnittliche Punktentfernung 450 m) als mittleren Fehler einer gemessenen Höhe  $\pm 1,05$  m, letzterer ( $f = 162$  mm, teilweise wesentlich ungünstigere Basisverhältnisse, durchschnittliche Zielweite 2000 m)  $\pm 1,96$  m. Die in Rücksicht auf das angewandte graphische Rekonstruktionsverfahren überaus günstigen Ergebnisse wurden im wesentlichen bestätigt durch die Untersuchung A. v. HÜBL<sup>3</sup> und F. SCHECK<sup>4</sup>.

Das Ergebnis einer ersten Anwendung dieser Art Untersuchungsmethode auf das Vorwärtseinschneiden nach Luftmeßbildern veröffentlichte R. HUGERSHOFF<sup>5</sup>. Er fand aus zwei Aufnahmen ( $f = 165$  mm, durchschnittliche Konvergenz der Zielstrahlen  $70^\circ$ , durchschnittliche Länge derselben 3000 m) als mittleren Fehler  $\Delta z$  einer einmal bestimmten Höhe  $\pm 3,5$  m und mit Hinzunahme ein drittes Bild mit etwa  $60^\circ$  Konvergenz gegen die Aufnahmerichtungen (beiden ersten Bilder  $\Delta z = \pm 1,7$  m). Im Gegensatz zu den angeführten früheren terrestrischen Versuchen, bei denen die Lagegenauigkeit nicht oder nur sehr ungenau angegeben wurde, konnten hier erstmalig die mittleren Fehler (Lagekoordinaten  $\Delta x$  und  $\Delta y$  ( $\pm 1,2$  m bzw.  $\pm 2,2$  m) bestimmt werden.

Die — übrigens praktisch nur für die Meßtischphotogrammetrie brauchbare — Methode, die Genauigkeit des Verfahrens aus den inneren Widersprüchen der Messungen abzuleiten, ist zwar sehr bequem, läßt aber systematische Einflüsse nur unvollkommen oder gar nicht erkennen.

**56. Ableitung der Objektpunktfehler aus Vergleichsmessungen.** Die Wirkung aller Fehlerquellen kann nur durch Vergleichung der photogrammetrischen Rekonstruktion mit den Ergebnissen von Messungen höherer Genauigkeit aufgedeckt werden. Die Vergleichung erfolgt im allgemeinen in der Weise, daß man für eine Reihe von Objektpunkten, deren Lage und Höhe besonders sorgfältig im Gelände gemessen wurde und die auf den entsprechenden Meßbildern wieder zu erkennen sind, die Differenzen zwischen den (exakten und photogrammetrisch ermittelten Raumkoordinaten feststellt. Aus diesen Differenzen werden die mittleren Koordinatenfehler abgeleitet, durch welche die tatsächliche Genauigkeit der photogrammetrischen Rekonstruktion ausreicht gekennzeichnet ist.

Eine Fehlerquelle dieses Prüfverfahrens liegt in der unvollständigen Um-

<sup>1</sup> C. KOPPE, Die Photogrammetrie od. Bildmeßkunst, Weimar 1889.

<sup>2</sup> S. FINSTERWALDER, ZS f. Verm. 25, 1890, S. 225.

<sup>3</sup> A. v. HÜBL, Mitt. d. Militärgeogr. Inst. Wien, 19, 1899, S. 127.

<sup>4</sup> F. SCHECK, Einfache u. stereoskop. Bildmessung im neuen Feldegebiet, München 1912.

<sup>5</sup> R. HUGERSHOFF und H. CRANZ, Grundlag. d. Photogramm. aus Luftfahrzeugen, Stuttgart 1919. Eine Schätzung der mit Verwendung des Kernpunktverfahrens erzielten Genauigkeit ( $\pm 2$  m mittl. „Punktfehler“) gab S. FINSTERWALDER (Grundaufgabe d. Photogramm., München 1903).

nangelhaften Identifikation der Kontrollpunkte, eine künstliche Signalisierung derselben sichert zwar die Identität, kann aber andere Nachteile (S 208) zur Folge haben. Handelt es sich um die Prüfung von Kartierungen mit stereoskopischen Auswertegeräten, so soll die Einstellung der Kontrollpunkte am Raummodell zur Einschränkung der Identifizierungsfehler von demjenigen vorgekommen werden, der die Geländemessungen ausgeführt hat.

Durchgreifender und darum besser als die Prüfung durch Punktvergleiche ist die Untersuchung eines fertig vorliegenden Lage- und Schichtenplanes, schon mit Rücksicht darauf, daß die bei kontinuierlicher Zeichnung erzielbare Genauigkeit nicht ohne weiteres mit der Genauigkeit identisch ist, die sich bei punktreiser Einstellung ergibt (S 209, Fußnote 2). Die Prüfung geschieht hierbei durch Vergleichung von geeignet gewählten Kartenprofilen mit exakt aufgenommenen Geländeprofilen, wobei die Endpunkte der letzteren nach Koordinaten bestimmt und auf Grund derselben in die Karten eingetragen wurden.

a) Terrestrische Stereophotogrammetrie. Genauigkeitsprüfungen durch Vergleichsmessungen wurden an punktweise stereophotogrammetrisch gewonnenen Karten schon 1907 von E. DOLEŽAL<sup>1</sup> und 1914 von K. KORZER<sup>2</sup> veröffentlicht. Letzterer fand beim Kartierungsmaßstab 1:12500

mittl. Lagefehler  $\pm 2,5$  m

mittl. Höhenfehler  $\pm 0,5$  m

und beim Kartierungsmaßstab 1:25000 das Doppelte dieser Werte. Nähere Angaben über Basisverhältnisse, Zielwerten usw. sind hier nicht gemacht, sie fehlen auch bei der a. a. O. veröffentlichten Bemerkung über die Genauigkeit an Stereoaufnahmen M 1911, wo KORZER den mittl. Höhenfehler der Kartierung in 1:25000 als innerhalb  $\pm 3$  m liegend und den Lagefehler als etwa  $\pm 1$  m angibt. Auch die Mehrzahl der späteren Untersuchungen zeigt diesen Mangel.

WEIKMEISTER<sup>3</sup> prüfte einen nach Aufnahmen mit einer Bildweite von 190 mm photographisch hergestellten Plan 1:10000 durch Profilmessungen und unmittelbare Kartierung der mit 5 m Abstand gezeichneten Schichtlinien. Es ergab sich ein mittl. Höhenfehler von  $\pm 0,81$  m, der wesentlich geringer ist als der mittl. Höhenfehler ( $\pm 1,36$  m) badi-scher Kartenblätter gleichen Maßstabs, die auf tachymetrischem Wege hergestellt waren. F. NOWATZKY<sup>4</sup> untersuchte den Schichtenplan 1:2000, für den sich im Durchschnitt ein mittl. Höhenfehler von  $\pm 0,2$  m ergab.

NOWATZKY — und neuerdings wieder K. SOHNEDER, s. unten — versuchten den mittl. Höhenfehler  $\Delta z$  eines Punktes als eine Funktion

$$\Delta z = \pm (c + k \cdot \operatorname{tg} a)$$

der Geländeneigung  $a$  in der Umgebung des Punktes darzustellen, entsprechend der von C. KOPPE<sup>5</sup> für den mittl. Höhenfehler tachymetrischer Messungen eingeführten Beziehung. Das verwendete Zahlenmaterial kann diese übrigens auch schwer zu begründende Abhängigkeit nicht beweisen, viel wahrscheinlicher ist — entsprechend der Beziehung (6) S 205 — die Abhängigkeit des mittl. Höhenfehlers des Punktes vom Neigungswinkel  $\tau$  des ihn bestimmenden Zielstrahles.

Über ähnliche ausgewählte Ergebnisse hinsichtlich der Genauigkeit der Höhen- und der Schichtendarstellung berichtet E. DEMMER,<sup>6</sup> der an der Schichten-

<sup>1</sup> E. DOLEŽAL, Öst. Zs. f. Verm. 5, 1907, S. 264.

<sup>2</sup> K. KORZER, Mitt. d. Militärgeogr. Inst. Wien 31, 1914, S. 157.

<sup>3</sup> F. WEIKMEISTER, Öst. Zs. f. Verm. 19, 1921, S. 65.

<sup>4</sup> F. NOWATZKY, Jahresber. d. Reichsannts. f. Landesaufn., Berlin 1922/24.

<sup>5</sup> C. KOPPE, Zs. f. Verm. 31, 1902, S. 412.

<sup>6</sup> E. DEMMER, Öst. Zs. f. Verm. 23, 1925, S. 90.



darstellung bei einem Kartierungsmaßstab 1 : 1000 einen mittl Höhenf von  $\pm 0,11$  m feststellte

In der Schweiz fanden K. SCHNEIDER<sup>1</sup> mit Benutzung des Stereoautogra für Kartierungen im Maßstab 1 : 5000 und 1 : 10000 einen durchschnittl mittl Höhenfehler von etwa  $\pm 1,0$  m und J. BALTENSPIERGER<sup>2</sup> für die glei Maßstäbe sowohl mit dem Stereoautographen als auch mit dem Autogra  $\pm 0,80$  m. Der benutzten Meßkammer ( $f = 190$  mm, bzw 165 mm) warer vorgeschriebenem Basisverhältnis von etwa 1 : 10 die maximalen Zielweiter gepaßt, sie betragen für die erstere Kammer und den Maßstab 1 : 10000 10 m. Der Lagefehler war nach BALTENSPIERGER 0—2,5 m. Genauere Angaben die WILBSchen Geräte veröffentlichte K. SCHNEIDER a. a. O. Darnach bei bei einer Kartierung im Maßstab 1 : 10000, einer mittl Punktentfernung 6 km und einem Basisverhältnis von nicht unter 1 : 10 der mittl Lagef  $\pm 3$  m und der mittl Höhenfehler  $\pm 0,80$  m.

b) Stereoskopische<sup>3</sup> Luftbildmessung. Eine mit dem ersten Univ. gerät, dem Autokartographen, hergestellte Schichtlinienkarte 1 : 10000 w bereits 1921 unter Leitung von C. TATTSCHKE einer amtlichen Prüfung unt gen<sup>4</sup>. Die untersuchten Schrägaufnahmen ( $f = 165$  mm, Neigung  $30^\circ$ , Basis 40 m, mittlere Punktentfernung 4000 m, relative Flughöhe 1800 m) ergaben als Punktf. einer einmal bestimmten Höhe  $\pm 1,22$  m. Bei einer 1923 vor gleichen Behörde unter wesentlich günstigeren Aufnahmeverhältnissen (873 m, mittlere Punktentfernung 4500 m) durchgeführten zweiten Vergleichsmessung<sup>5</sup> wurde als mittl Höhenfehler  $\pm 0,37$  m gefunden. Dieses gute heute nichts Ungewöhnliches darstellende Ergebnis begegnete zur damaligen lebhaften Zweifel<sup>6</sup>. Die PHOTOGRAMMETRIE G. m. b. H. in München s mit Benutzung eines zur punktweisen Auswertung von Schrägaufnahmen gerichteten Stereoautographen und auf Grund von signalisierten Bodenpur Genauigkeitsuntersuchungen an, die unter Mitwirkung des Bayerischen Landesvermessungsamts gefundenen mittl Fehler der Objektpunktkoordinaten w bzw  $\pm 0,26$  m,  $\pm 0,24$  m und  $\pm 0,36$  m.

Eine erste amtliche Vergleichsmessung<sup>7</sup> (ohne nähere Angaben) einer Hilfe des Stereoplanigraphen hergestellten Schichtlinienkarte 1 : 5000 als mittl Höhenfehler der Schichtlinien  $\pm 2,5$  m.

Von weiteren Vergleichsmessungen seien die von J. BALTENSPIERGER<sup>8</sup>

<sup>1</sup> K. SCHNEIDER, Ergebnisse stereophotogrammetrischer Aufnahmen i. d. Schweiz, Brugg 1926.

<sup>2</sup> J. BALTENSPIERGER, Die Phot. als Aufnahmeverfahren d. Schweiz, Grundverm., Brugg 1926.

<sup>3</sup> Hinsichtlich des Doppelprojektionsverfahrens sind eingehende Genauigkeitsuntersuchungen bisher nicht veröffentlicht worden. Einige Angaben über Doppelprojektor GASSERScher Konstruktion bringt E. DOLEŽAL, Int. Arch. f. Photogram., 6, 1923, S. 301. Bezügl. des NISTRI-Gerätes vgl. die kurzen Angaben Sc. et Ind. Phot., Paris 1926, Nr. 10, S. 473.

<sup>4</sup> Reichsamt f. Landesaufn. Sachsen, Über d. Genauigkeit von Schichtlinienplänen aus Luftmeßb., Ergebn. einer Vergleichungsmessung zwischen Meßtafelm. u. d. HUGERSHOFFschen Autokartographie, Dresden 1921. Vgl. Abb. 11.

<sup>5</sup> H. H. KRITZINGER, ZS. f. Verm. 54, 1925, S. 421.

<sup>6</sup> O. v. GRUBER, ZS. f. I. 46, 1926, S. 255 bis 262, R. HUGERSHOFF, ZS. f. 1926, S. 439 bis 444.

<sup>7</sup> A. SCHLOTZER, Der Bauing 5, 1924, S. 809.

<sup>8</sup> Konsortium Luftbild G. m. b. H., Die photograph. Geländevermessung, München 1924.

<sup>9</sup> Vgl. Anm. 2 auf dieser Seite.

SOHNEDER<sup>1</sup> (Eidgen Landestopographie in Bern) erwähnt Beide unter-  
ten zunächst einige mit dem Stereoplanigraphen ausgearbeitete Plattenpaare  
(teilweise konvergenten) Senkrechtaufnahmen Ersterer fand ( $f = 180$  mm,  
lere relative Flughöhe etwa 3000 m, Basisverhältnis 1 2 bis 2 3)

mittl Lagefehler  $\pm 0,70$  m

mittl Höhenfehler  $\pm 0,85$  m

h K SOHNEDER war (Basis 1600 m, relative Flughöhe 2500 m)

mittl Lagefehler  $\pm 1,60$  m

mittl Höhenfehler  $\pm 0,99$  m

terhin prüfte K SOHNEDER die Ausarbeitung von Schrägaufnahmen  
ohl im Autokartographen als auch im Stereoplanigraphen Das Ergebnis war  
Autokartograph ( $f = 165$  mm, Neigung  $30^\circ$ , relative Flughöhe 1200 m,  
Basis 422 m, mittlere Punktentfernung  
2100 m)

mittl Lagefehler  $\pm 4,03$  m

mittl Höhenfehler  $\pm 1,09$  m,

Stereoplanigraph ( $f = 180$  mm, Neigung  $35^\circ$ , relative Flughöhe 2900 m,  
Basis etwa 1930 m, mittlere Punkt-  
entfernung etwa 4000 m)

mittl Lagefehler  $\pm 3,08$  m

mittl Höhenfehler  $\pm 1,26$  m

SOHNEDER hat dann auch eingehende Untersuchungen der Genauigkeit  
WILDSchen Autographen bei Ausarbeitung von Luftmeßbildern angestellt<sup>2</sup>  
untersuchte vier Plattenpaare von konvergenten Senkrechtaufnahmen  
165 mm, Konvergenz etwa  $14^\circ$ , mittlere relative Flughöhe 2000 m, Basis-  
altnis 1 3 bis 1 5), zu deren Orientierung die hohe Zahl von 19 Festpunkten  
endet wurde Als Resultat fand sich für die punktweise Bestimmung

mittl Lagefehler  $\pm 3$  m

mittl Höhenfehler  $\pm 0,51$  m

Während bei allen bisher beschriebenen Vergleichsmessungen Glasplatten  
unigen der Vergleichsmessungen, insbesondere bei der letzterwähnten Unter-  
ung der WILDSchen Instrumente sogar Spiegelglasplatten) als Emulsions-  
r Verwendung fanden, wurden bei der neuesten in vieler Beziehung gründ-  
ten Genauigkeitsuntersuchung (und zugleich auch Prüfung der Wirt-  
ftlichkeit), durch das Reichsamt für Landesaufnahme in Berlin zum  
n Male Filme als Aufnahmematerial benutzt Die unter Leitung von  
SEIDEL<sup>3</sup> mit dem Autokartographen und dem Stereoplanigraphen durchge-  
e Untersuchung erstreckte sich über ein Gebiet von etwa 30 qkm außerordent-  
kleinartigem, und darum topographisch schwierigstem Dunengebiet  
230) Die etwa 80 in Streifenform aufgenommenen Meßbildpaare (Senk-  
aufnahmen,  $f = 180$  mm, relative Flughöhe 900 bis 1000 m, Basisverhältnis  
1 3) wurden von der HANSA LUFTBILD G m b H ausgeführt, der Film  
c von der Firma GOERZ, PHOTOCHEMISCHE WERKE, Berlin-Zehlendorf,  
ert

Vgl S 212, Anm 1

K SOHNEDER, Schweiz ZS f Verm 9, 1928, S 195

IR SEIDEL, Mitt d Reichsamtes f Landesaufn, Sonderheft 7, Berlin 1928

Eine kurze Zusammenfassung des Gesamtergebnisses zeigt nebenstehende Übersichtstabelle<sup>1</sup> (siehe S 215)

Mit dem hier erreichten, in Zukunft wohl kaum noch zu verringernenden m Fehler der kontinuierlichen Schichtenzeichnung sind die Grenzen angege-



Abb 239 Eine der Mesßbildaufnahmen des Dänischgeländes bei Amrum

die dem exakten luftphotogrammetrischen Verfahren gesetzt sind es ist wesentlich ein topographisches Verfahren die Herstellung von P mit Schichtenabständen von weniger als einem Meter ist im allgemeinen terrestrischen oder kombinierten Aufnahmemethoden (S 24) vorbehalten

<sup>1</sup> Hinsichtlich der Höhenfehler ist auch hier (vgl S 211) zu bemerken, daß die Abhängigkeit von der Geländeneigung nicht überzeugend festzustellen war SEIDEL sagt selbst, daß „die Güte der aus Luftlichtbildern ermittelten Höhen nahezu unabhängig vom Gelände“ sei

	Autokartograph		Stereoplanigraph	
	mittl. Lage- fehler $\pm m$	mittl. Höhen- fehler $\pm m$	mittl. Lage- fehler $\pm m$	mittl. Höhen- fehler $\pm m$
aktbestimmte, mit Sicherheit identifizierte Bodenpunkte	0,88	0,15	0,56	0,16
restrisch-photogramm be- stimmte Bodenpunkte	—	0,18	—	0,10
nichtliniendarstel- ung bei einer mittleren Ge- ändeneigung von 22,5°	—	0,45	—	0,44

c) Aerotriangulation Ein besonderes Verdienst hat sich FR SEIDEL durch erworben, daß er als erster — im Auftrag des Reichsamtes für Landesnahme in Berlin — die exakte Untersuchung eines Aerotriangulationsverfahrens, und zwar des von R. HUMMELSHOF eingeführten Normalreihenverfahrens, nahm und veröffentlichte<sup>1</sup>. Die Untersuchung erstreckte sich auf 11 Bilder der Amrumreihen (Grundkarte 1:5000 von Amrum, s. oben), die Länge entsprechenden Strecke beträgt 4 km. In der folgenden Tabelle sind zunächst unmittelbaren Ergebnisse (a. a. O., S. 93) nochmals zusammengestellt.

Tabelle 2 Abweichungen gegen den Sollwert

Pkt.	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	Pkt.	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$
1	-1,32	+1,19	-0,20	13	+1,48	-1,59	-0,09
2	-1,03	+0,56	-0,01	14	+5,36	-1,71	+0,11
3	$\pm 0$	$\pm 0$	$\pm 0$	15	+5,78	-0,25	-0,39
4	$\pm 0$	$\pm 0$	-0,38	16	+7,30	-3,87	+0,42
5	-0,51	+0,47	+0,25	17	+7,73	-1,59	-0,11
6	+0,18	-0,28	+0,54	18	+3,96	+0,03	-0,05
7	+2,85	-0,04	-0,31	19	+2,75	+0,90	-0,07
8	+1,70	+0,04	-0,49	20	+0,98	-0,80	+0,13
9	+2,20	-2,54	-0,01	21	+4,06	+1,22	+0,65
10	+2,05	-3,42	-0,30	22	+7,01	-1,50	-0,53
11	+3,62	-2,79	+0,14	23	+8,13	+1,13	+0,07
12	+3,31	-1,41	-0,38				

Die Punkte 1 bis 4 dienten als Ausgangspunkte für die Bildorientierung, Bestimmung sowie die der 19 Kontrollpunkte kann als fehlerfrei gelten. Aus diesen unmittelbaren Messungsergebnissen, die an sich schon die mit dem Normalreihenverfahren erzielbare hohe Genauigkeit erkennen lassen, die die Koordinatenfehler der verglichenen Punkte abzuleiten, sind die Beobachtungsdifferenzen selbstverständlich zuvor von systematischen Einflüssen befreit. Solche Einflüsse sind bei den  $x$ -Werten besonders stark in Erscheinung getreten, man erkennt leicht, daß es sich hier — der Flug erfolgte im Entlichen in der Richtung der  $x$ -Achse — um Maßstabsfehler handelt, die die Praxis insofern ohne Bedeutung sind, als sie bei der Reproduktion der in einfacher Weise mechanisch zu eliminieren sind.

Bringt man die Lagekoordinaten in ähnlicher Weise wie das bei Polygonen in der Vermessungskunde gebräuchlich ist, auf den durch die Endpunkte Zuges vorgeschriebenen Maßstab und eliminiert noch einen geringen kon-

<sup>1</sup> FR SEIDEL, Jahresber. d. Reichsamts f. Landesaufn. Berlin 1929/30, Nr. 2, 0 bis 94.

stanten Fehleranteil ( $-0,04$  m) an den beobachteten Höhenunterschieden, ergeben sich die folgenden reduzierten Koordinatendifferenzen

Tabelle 3 Unregelmäßige Abweichungen gegen den Sollwert

Pkt	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	Pkt	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$
1	$-0,42$	$+0,95$	$-0,16$	13	$+0,52$	$-2,17$	$-0,05$
2	$-0,52$	$+0,42$	$+0,03$	14	$+1,75$	$+0,88$	$+0,16$
3	$-0,11$	$-0,02$	$+0,05$	15	$+1,28$	$-0,80$	$-0,35$
4	$-0,04$	$+0,02$	$-0,33$	16	$+2,88$	$-0,50$	$+0,53$
5	$-1,25$	$+0,62$	$+0,29$	17	$+2,40$	$-2,90$	$-0,07$
6	$-0,76$	$-0,08$	$+0,58$	18	$-1,84$	$+1,30$	$-0,01$
7	$+0,20$	$+0,98$	$-0,26$	19	$-2,92$	$+2,06$	$-0,02$
8	$+0,89$	$+0,38$	$-0,45$	20	$-1,68$	$+2,53$	$+0,18$
9	$-0,62$	$-1,09$	$-0,56$	21	$+0,29$	$+0,65$	$+0,69$
10	$+0,05$	$-2,13$	$-0,26$	21	$-0,34$	$+0,08$	$-0,48$
11	$-0,73$	$-2,95$	$+0,19$	23	$+0,51$	$+2,68$	$+0,71$
12	$+0,23$	$-0,72$	$-0,42$	Fehler- summe	$-0,01$	$-0,01$	$-0,01$

Aus diesen Abweichungen ergeben sich

$$\Delta x = \pm 1,3 \text{ m}$$

$$\Delta y = \pm 1,5 \text{ m}$$

$$\Delta z = \pm 0,4 \text{ m}$$

Eine ähnliche, 1929 von R. HUGERSHOFF durchgeführte Untersuchung der auf S 202 erwähnten Elbe-Reihe (10 Senkrechtaufnahmen auf AGFA-Film  $f = 135$  mm, mittlere relative Flughöhe 1200 m, Basisverhältnis 1 : 3, Gesamtlänge 4,3 km) ergab für den mittl. Höhenfehler  $\pm 1,1$  m, in guter Übereinstimmung mit der „inneren“ Genauigkeit der Höhen, die aus überschüssig gemessenen Höhenmessungen an Punkten innerhalb der dreifach überdeckten Gebiete abgeleitet wurde und die  $\pm 1,2$  m betrug.

Vergleichsmessungen hinsichtlich der Ergebnisse der Nadirpunkttriangulation sind nicht bekannt geworden. Dagegen hat J. KOPFMANN (vgl. S 16) aus der Ausgleichung einer Rautenkette, die sich aus einer Bildreihe von 12 Bildern ergab, den mittl. Fehler einer bestimmenden Richtung zu  $\pm 18,6'$  ermittelt, durch den die innere Genauigkeit des Verfahrens einigermaßen gekennzeichnet ist.

d) Entzerrungen, bzw. Luftbildkarten und Luftbildskizzen. Über die bei sorgfältiger Arbeit<sup>1</sup> und Wahl der Projektionsebene in mittlerer Höhe (S 22) erzielbare Genauigkeit des Entzerrungsverfahrens berichtet K. SCHNEIDER<sup>2</sup>. Er findet für den Planmaßstab 1 : 10000 ( $f = 250$  m, relative Flughöhe 3400 m, Nadirdistanz der Aufnahmeachsen  $1^\circ$  bis  $6^\circ$ ) einen mittl. Lagefehler von  $\pm 3$  m, bei maximalen Abweichungen bis zu 5 m. A. SCHLOTZER<sup>3</sup> gibt für den Kartenmaßstab 1 : 20000 als mittl. Lagefehler  $\pm 16$  m an, die von ihm untersuchten, aus einfachen Aufnahmen unmittelbar zusammengestellten „Luftbildskizzen“ im Maßstab 1 : 10000 wiesen einen mittl. Lagefehler von  $\pm 52$  m an.

<sup>1</sup> Hierher gehören Vorkehrungen zur Erzielung der Maßhaltigkeit der nachfolgenden Entzerrungen, wie Aufkopieren eines Koordinatennetzes und Aufkleben auf feste Unterlagen, z. B. auf Aluminiumplatten, vgl. auch S 24 Anm. 1.

<sup>2</sup> K. SCHNEIDER, Versuche über Entzerrung von Fliegerbildern und bisherige Versuchsergebnisse, Brugg, 1926.

<sup>3</sup> A. SCHLOTZER, Der Bauing 5, 1924.

## IX. Technik der Luftbildaufnahme

Ein wichtiger Zweig des „Luftbildwesens“, d. h. der zusammenfassenden Darstellung aller Verfahren und Hilfsmittel zur Gewinnung und Verwertung von Luftbildern,<sup>1</sup> ist die Technik der Bildaufnahme, und zwar insofern, als die Wirtschaftlichkeit der aerophotogrammetrischen Arbeitsergebnisse nicht nur von der Leistungsfähigkeit der Aufnahme- und Auswertegeräte, sondern auch in hohem Maße von der zweckentsprechenden Anordnung und rationellen Durchführung der Bildflüge abhängt.

### A. Allgemeines

**57. Arten der Aufnahmen und die aus ihnen abgeleiteten Produkte** Außer Einzelaufnahmen (vorwiegend einzelnen Schrägaufnahmen), die meist als Ansichts- oder Übersichtsaufnahmen unmittelbar z. B. dem Unterricht, dienen auch der militärischen Erkundung einzelner Objekte und deren Nachzeichnung in vorhandene Karten (S. 12) dienen, liefern die Bildflüge in der Hauptsache Streifenaufnahmen. Aus parallel nebeneinander angeordneten Bildern ergeben sich die Flächenaufnahmen. Sowohl Streifen- als Flächenaufnahmen setzen sich im allgemeinen aus Senkrecht- bzw. Steilaufnahmen, oder aus Schrägaufnahmen, zusammen. Dabei unterscheidet man je nach dem Grad der gegenseitigen Überdeckung der im Streifen aufeinanderfolgenden Bilder entweder Einzelaufnahmen (Überdeckung nur soweit, daß Lücken vermieden werden) oder Stereoaufnahmen (Überdeckung 60% bis 100%). Die aus Einzelaufnahmen zusammengesetzten Streifen-, bzw. Flächenaufnahmen bilden die Grundlage für Luftbildskizzen<sup>2</sup> (meist unmittelbare skizzenartige Zusammenstellung der Aufnahmen, Abb. 268) oder Luftbilder<sup>3</sup> (Zusammenstellung der zuvor auf einheitlichen Maßstab gebrachten Aufnahmen auf eine gemeinsame Horizontalebene umgebildeten oder entzerrten [S. 17] Aufnahmen, Abb. 269). Auf die Verwendung von Stereoaufnahmen gründet die Herstellung topographischer Karten (Abb. 270).

**58. Flugzeuge<sup>4</sup> und andere Kammerträger.** Das zur Zeit zweckmäßigste Mittel zum Hochbringen des Aufnahmegerätes ist zweifellos das Flugzeug,<sup>5</sup> an hohe Geschwindigkeit allerdings an den Aufnehmenden hinsichtlich Verlässlichkeit und Geschicklichkeit nicht geringe Anforderungen stellt. Diese Anforderungen sind weniger durch die Vornahme der Aufnahmen selbst bedingt,

Einen ausgezeichneten Überblick über den derzeitigen Stand des Luftbildwesens gaben die Sonderausstellung der Int. Ges. f. Photogramm. in Berlin (vgl. WALD, ZS. f. Flugtechnik u. Motorluftschiffahrt, Berlin 1927, Heft 8), und die Sonderausstellung auf der Int. Luftfahrttausstellung ebenda (Ausstellungsheft der Luftwacht, Berlin 1928).

B. M. JONES und J. C. GRIFFITHS, Aerial surveying by rapid methods, Cambridge 1925.

FR. H. MOFFIT, The Geogr. Rev., New York, 10, 1920,, E. L. JONES, The use of the Franklin Inst., New York 1922, CL. WINCHESTER und F. L. WILLIS, Aerial photography, a comprehensive survey of its practice and development, Boston, U. S. A. 1928, H. LÖSCHNER, Mitt. d. Hauptvers. deutsch. Ing. u. d. Tschechoslowakei, 1929.

W. BASSE, Allg. Verm.-Nachr. 39, 1927, S. 577, K. SLAWIK, Allg. Verm.-Nachr. 328, S. 97, M. J. UNGEWITTER, Bildmess. u. Luftbildwes. 3, 1928, S. 49, EIST, Luftwacht 1929, S. 255.

Einzelheiten über seine Konstruktion, über die Technik des Fliegens usw. LOEDERBECKs Taschenb. f. Flugtechniker u. Luftschiffer, herausgeg. v. R. SÜRING, WEGENER, Berlin 1923.

für die heute automatische und durchaus betriebssichere Reihenbildner (S 151) zur Verfügung stehen, als vielmehr durch die Überwachung der Einhaltung streng vorgeschriebener Flugbahnen, also der speziellen Orientierung (S 228) die der Pilot nicht übernehmen kann. Eine Gewähr für die einwandfreie Aufnahme eines größeren Gebietes ist im allgemeinen nur dann gegeben, wenn außer Piloten und Photographen ein besonderer Beobachter am Fluge teilnimmt, der den beiden erstgenannten die entsprechenden Anweisungen gibt.

Infolge des Motorlarms ist eine unmittelbare mündliche Verständigung im allgemeinen ausgeschlossen, einfache Winke mit der Hand kommen selbstverständlich nur dann in Frage, wenn sich Pilot und Beobachter, bzw. Photograph in unmittelbarer Nachbarschaft befinden. Ist das nicht der Fall, so benutzt man entweder einfache Sprechtrichter und festanliegende Hörmuscheln, die durch

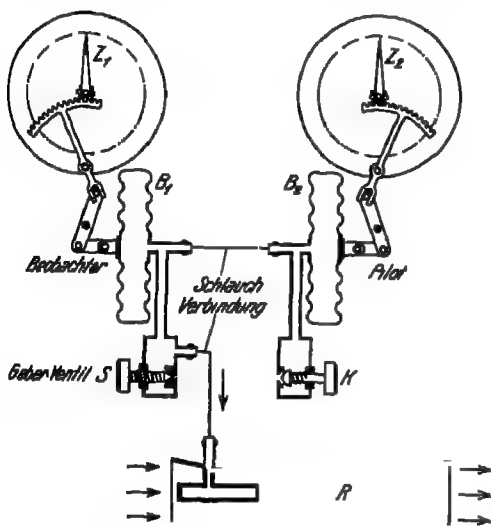
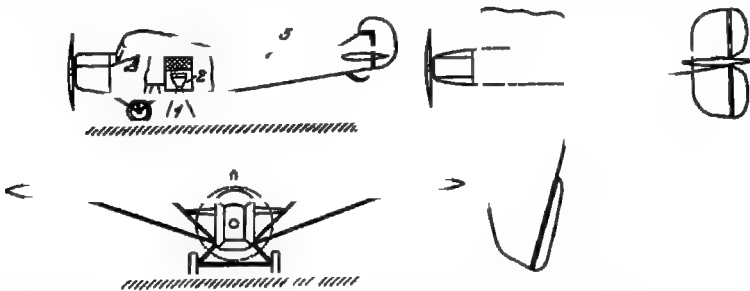


Abb. 240 Pneumatischer Kommandoapparat

Schläuche verbunden sind (z. B. das Aviophon der Firma ATRA in Paris oder man verwendet zwei vor der Piloten und dem Beobachter angebrachte identische Kommandoscheiben mit geeigneten Angaben, über die diese Scheiben drehen sich Zeiger, die gleichzeitig und gleichmäßig entweder mechanisch durch geeignete Hebel und Wellen oder pneumatisch betätigt werden. Das Schema eines pneumatischen „Kommandoapparates“ zeigt Abb. 240. Durch die außenbords angebrachte VENTURI-Röhre fließende Luftstrom erzeugt in den elastischen, durch einen Schlauch verbundenen Büchsen  $B_1$  und  $B_2$  einen Unterdruck  $D$ , hierdurch bewirkte Formänderung der Büchsen versetzt unter Vermittlung von Hebeln und Zahnrädern die Kommandozeiger  $Z_1$  und  $Z_2$  in Drehung. Sind dabei die beiden in die Schlauchverbindung eingeschalteten Ventile  $S$  und  $K$  geschlossen, so geben die Zeiger den maximalen Ausschlag. Durch Drehen der Ventilschraube  $S$ , die dabei der Außenluft allmählich Zutritt gibt, kann der Beobachter den Unterdruck in den Büchsen so regeln, daß die Zeiger auf die gewünschte Angabe weisen. Der beim Piloten befindliche Zugknopf  $K$  ist im allgemeinen unter der Einwirkung einer Druckfeder geschlossen. Durch kurz Anheben dieses Knopfes erhält die Außenluft vollen Zutritt, so daß beide Zeiger während der Dauer des Anhebens in ihre Ausgangsstellen zurückgehen („Verstanden“-Zeichen).

Ein für Vermessungszwecke geeignetes Flugzeug muß also zunächst und ganz allgemein die erforderliche Geräumigkeit besitzen und dem Beobachter eine möglichst freie Sicht nach allen Seiten, vor allem aber nach vorn und unten gewähren. Weiter müssen sowohl die Konstruktion des Rumpfes und des Fahrwerkes als auch die Anlage der Steuerorgane (Stoßstangen und Kabel) die Aufnahme eines Bodenloches mit genügend großem Gesichtsfeldwinkel für Senkrechtaufnahmen zulassen, für Schrägaufnahmen wird selbstverständlich beidseitig ein entsprechend großes, weder durch Tragdecks noch durch Streben ein geschränktes Gesichtsfeld gebraucht.

Die weiteren Anforderungen, die sich auf die Leistungsfähigkeit des Flugzeuges beziehen, sind abhängig von den speziellen Aufgaben und der Örtlichkeit, die es betreffen. Zunächst die zu fordernde größte Steighöhe (Gipfelhöhe), die, je nach der Höhenlage des Aufnahmegebietes, von dem gewünschten Bildmaßstab (S 223) und der Bildweite der Kammer bestimmt wird (S 110), in erst erschließenden Ländern also wesentlich größer sein wird als in Kulturländern, denen im allgemeinen nur ein Verlangen nach großmaßstäblichen Karten besteht. In Kulturländern spielt auch die Zeitdauer, während welcher das Flugzeug in der Luft halten kann (in Flugkilometer umgerechnet Flugbereich oder Aktionsradius), eine geringe Rolle, wogegen der Flugbereich in Neuländern mit nur wenigen Flugstützpunkten von entscheidender Bedeutung ist. Für deutsche Vermessungen genügen beispielsweise Flugzeuge, die bei einer längsten Flugdauer von vier Stunden eine Steighöhe von etwa 3000 m erreichen. Wirtschaftliche Gründe verlangen eine möglichst hohe Steiggeschwindigkeit, klimatische Verhältnisse und beschränkte Unterbringungsmöglichkeit stellen an das Bau-



241 Focke-Wulf A 21 (Maßstab 1:325), Stahlrohrumpf, Sperrholzflügel 1 Bodendöffnung, 2 Seitenöffnung mit Jalousie, 3 Dunkelkammer

erial bestimmte Anforderungen in tropischen und wenig erschlossenen Gebieten wird das Ganzmetallflugzeug vorzuziehen sein.

Spezielle Vermessungsflugzeuge gibt es zur Zeit noch nicht. Für die vorliegenden Aufgaben universell geeignet sind freitragende Hochdecker, bei denen der Beobachter vor oder neben dem Piloten sitzt. Mit mehr oder weniger Beanspruchungen sind aber auch andere Typen verwendbar. Von den für Luftaufnahmen im Gebrauch befindlichen deutschen Konstruktionen seien (in alphabetischer Reihenfolge) erwähnt:

Focke-Wulf A 21 (Abb 241), Hersteller FOCKE-WULF FLUGZEUGBAU A. G. Bremen,

Heinkel H. D. (Abb 242), Hersteller FLUGZEUGWERKE ERNST HEINKEL m. b. H. in Warnemünde,

Junkers W. 33 (Abb 243), Hersteller JUNKERS-FLUGZEUGWERK A. G., Dessau,

Messerschmitt M. 18 (Abb 244), Hersteller BAYERISCHE FLUGZEUGWERKE A. - G., Augsburg.

Für Großflächenaufnahmen kommt neben dem Flugzeug wenigstens theoretisch auch das Lenkluftschiff<sup>1</sup> in Betracht. Es bietet gegenüber dem Flugzeug nicht nur durch seine im allgemeinen ruhigere Lage und größere Genau-

<sup>1</sup> Über das tragische Ende G. KAMMERERS am 20. Juni 1914 bei den wohl ersten fotografischen Versuchen in einem Lenkluftschiff (System KRING) berichtet E. DOLEŽAL, Int. Arch. f. Photogram. 5, 1915, S. 2.



migkeit, sondern vor allem durch seine in weiten Grenzen regulierbare Geschwindigkeit beachtenswerte technische Vorteile. Der letztere Umstand ist von Bedeutung bei Fahrten in geringer Höhe, hier kann man übrigens, bei Verwen-

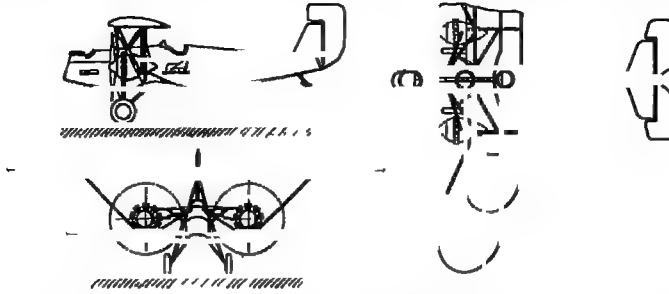


Abb 242 Heinkel H D 20 (Maßstab 1 250), Stahlrohrumpf, teilweise Stoffbespannung, Beobachterkanzel

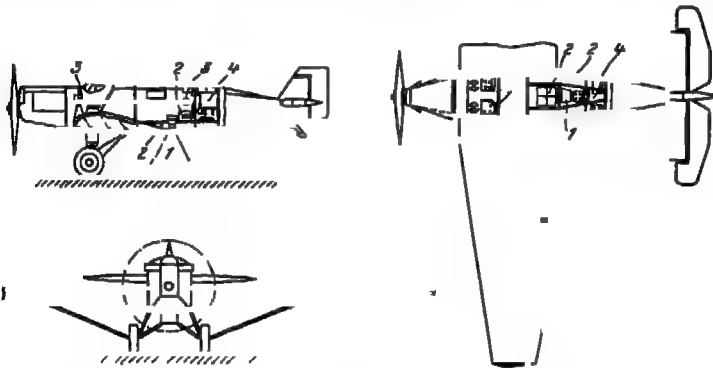


Abb 243 Junkers W, 33 (Maßstab 1 240), Ganzmetall 1 Reihenbildner, 2 Beobachfenster, 3 Verständigungsgerät, 4 Dunkelkammer

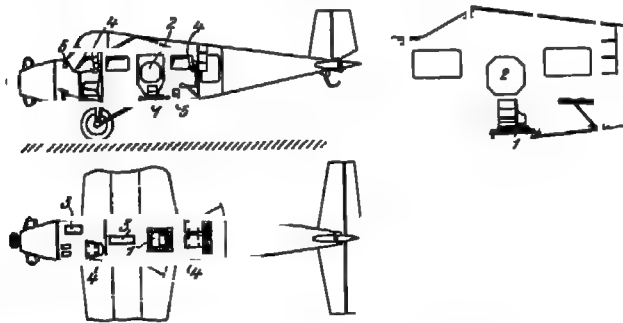


Abb 244 Messerschmitt M 18 (Maßstab 1 270), Ganzmetall 1 Reihenbildner, 2 Öffnungen für Schrägaufnahmen 3 Suchöffnungen mit Visierhülle, 4 und 5 Verständigungsgeräte

je einer Kammer im Bug und Heck (S 194), aufeinander folgende Meßbilder gleichzeitig aufnehmen, was, falls die Fahrthöhe das drei- bis fünffache Kammerabstandes nicht überschreitet, bei Aufnahmen von ganz oder teil bewegten Objekten wertvoll sein kann.

Den angedeuteten Vorteilen stehen nicht unwesentliche insbesondere wirtschaftliche Nachteile gegenüber, so z. B. der hohe Preis der Fahrzeuge

Forderung von Stützpunkten mit im allgemeinen kostspieligen Sondereinrichtungen. Wenn auch Aktionsradius und Betriebssicherheit der modernen PRELLIN-Schiffe gestatten, mit einem Ankerplatz weit außerhalb des Arbeitsnetzes auszukommen, so werden doch hier die Kosten der Anfahrt die Rentabilität des Ergebnisses im allgemeinen in Frage stellen. Anders freilich liegen die Verhältnisse, wenn das Lenkluftschiff der wirtschaftlichen Erschließung von Ländern indirekt durch allgemeine geographische Forschungen dienen soll, er wird es zweifellos eine ausgezeichnete Basis für die topographische Darstellung des überfarenen Gebietes liefern. Versuche in dieser Richtung werden durch die aerogeodätische Kommission der „INTERNATIONALEN GESELLSCHAFT FÜR ERSCHESSUNG DER ARKTIS MIT LUFTFAHRZEUGEN“ vorbereitet.

Der Freiballon, dessen Benutzung wertvollste Anregungen zur Entwicklung der Methoden der allgemeinen Photogrammetrie gegeben hat, kommt praktisch für die kartographische Aufnahme eines vorgeschriebenen Gebietes fastverständlich nicht in Frage. Dagegen hat der bemannte Fesselballon<sup>1</sup> Kammerträger für militärische, insbesondere artilleristische Aufgaben<sup>2</sup> wertvolle Dienste geleistet. Er kann hier unter Umständen zur kartographischen Festlegung von einzelnen wichtigen Zielpunkten und von Veränderungen im Gelände benutzt werden. Stereoskopische Bildpaare lassen sich dabei durch Aufnahmen aus verschiedenen Höhen gewinnen. Zur mechanischen Ausarbeitung solcher Aufnahmen mit (im wesentlichen) vertikaler Basis vgl. S. 92.

An dieser Stelle mag auch auf die Versuche hingewiesen werden, eine Kammer in einem Preßluft-Katapult in eine bestimmte Höhe zu heben, während des Abgleitens der an einem Fallschirm befestigten Kammer erfolgt die Belichtung. Der hierfür erforderlichen, von N. MAUL angegebenen und (nicht ganz zutreffend) als „Raketenapparat“ bezeichneten Vorrichtung<sup>3</sup> kommt wohl, ebenso wie den Versuchen, Aufnahmen durch Brieftauben<sup>4</sup> vornehmen lassen, kaum eine ernsthafte Bedeutung zu.

Ebenso wie der bemannte Fesselballon können zur Erkundung bzw. Aufnahme engbegrenzter Gebiete auch unbemannte Fesselballone und Drachen Verwendung finden, beide Hilfsmittel eignen sich wegen ihrer geringen Anschaffungs-, Transport- und Betriebskosten unter Umständen gut als behelfsmäßige Kammerträger auf Forschungsreisen,<sup>5</sup> z. B. für archäologische Expeditionen. Es ist erwiesen, daß auf Senkrechtaufnahmen die Begrenzung verunsteteter künstlicher Anlagen, die bei der einfachen Begehung des Arbeitsnetzes oft verborgen bleiben, deutlich in Erscheinung treten.

Über praktische Erfahrungen mit unbemannten Fesselballonen berichtet eingehend A. RANZA<sup>6</sup>. Umfangreiche Versuche mit Drachen hat vor allem TH. THIELE<sup>7</sup> durchgeführt, auch die Versuche von TH. SCHEMPFLUG<sup>8</sup> sind er-

<sup>1</sup> Über konstruktive Einzelheiten vgl. z. B. R. STRING, Der Kugelballon, in FÖRSTER'S Taschenbuch, Berlin 1923.

<sup>2</sup> Vgl. z. B. E. EWALD, Photographie, ebenda (s. Anm. 1).

<sup>3</sup> TH. SCHEMPFLUG, Int. Arch. f. Photogramm. 1, 1908, S. 213, vgl. auch ebenda 1915, S. 68.

<sup>4</sup> Vgl. Arch. f. Photogramm. 1, 1909, S. 297 u. 304, ferner Phot. Korresp. 52, 5, S. 12.

<sup>5</sup> I. TSCHAMLER, Int. Arch. f. Photogramm. 3, 1912, S. 116.

<sup>6</sup> Fototopografia e fotogrammetria aerea, Rom 1907, vgl. dazu das Referat von SCHEMPFLUG, Int. Arch. f. Photogramm. 1, 1908, S. 75. Eine Haltevorrichtung für Fesselballone beschreibt H. WILD, D. R. P. Anmeldung vom 31. Okt. 1921, Kl. 42 c/9.

<sup>7</sup> R. THIELE, EDERS Jahrb. f. Phot. u. Reprod., Halle a. S. 1902, Int. Arch. f. Photogramm. 1, 1908, ebenda, vgl. auch E. DOLEŽAL, ebenda 4, 1913, S. 2.

<sup>8</sup> TH. SCHEMPFLUG, Phot. Korr. 40, 1903, S. 659.

wähnenswert. Letzterer gab eine klare Übersicht über die verschiedenen Drachenkonstruktionen,<sup>1</sup> die technische Seite der Bildaufnahme vom Drachen aus fand eine vorzügliche Darstellung durch J. TH. SACONNY.<sup>2</sup> Eine spezielle Drachenkammer wurde von E. WENZ angegeben.<sup>3</sup>

**59. Bemerkungen zur Organisation.** Die praktische Durchführung aerophotogrammetrischer Aufgaben ist zunächst an das Vorhandensein einer Bodenorganisation gebunden. Diese umfaßt neben der Erkundung von Hilfs- und Notlandeplätzen die Herstellung und Unterhaltung von Flugstützpunkten, die für Start und Landung geeignet sein und entsprechende Unterkunftsmöglichkeiten für Flugzeuge, Personal und Material, außerdem aber Reparaturwerkstätten und Dunkelkammer besitzen müssen. Je weiter die Flugstützpunkte von einander und von allgemeinen Verkehrsplätzen entfernt liegen, umso notwendiger werden unabhängige Funkeinrichtungen und Hilfsmittel zur selbständigen Beobachtung und Messung atmosphärischer Vorgänge. Von besonderer Wichtigkeit sind Vorkehrungen zur Versorgung der Stützpunkte mit Wasser, Betriebsstoff und Ersatzmaterial. Große Entfernungen zwischen den Flugstützpunkten erfordern starke im Bildflugbetrieb wenig rentable Flugzeuge von entsprechend großem Aktionsradius.

Eine derartige in Kulturländern mit regelmäßigem Luftverkehr bereits vorhandene Bodenorganisation ist in Neuländern erst zu schaffen, im Hinblick auf ihre Kostspieligkeit wird sie sich im allgemeinen nur im Zusammenhang mit der Organisation der allgemeinen verkehrstechnischen und wissenschaftlichen Erschließung des betreffenden Gebietes durchführen lassen.

Für ausgedehnte und insbesondere von Flugstützpunkten weit entfernte Arbeitsgebiete ist ferner das Vorhandensein eines organisierten Wetterdienstes<sup>4</sup> eine wertvolle Hilfe, die allerdings wegen der in Ländern von mittlerer geographischer Breite im allgemeinen unsicheren Prognosen häufig versagt. Die Möglichkeit von Fehlprognosen — eine rationelle Luftbildmessung ist selbstverständlich an das Vorhandensein einer klaren Sicht und einen bei hochstehender Sonne wolkenlosen Himmel gebunden<sup>5</sup> — erschwert in solchen Ländern die Vorausberechnung der Kosten einer Aufnahme in hohem Maße.

Es liegt in der Natur der eine großzügige Organisation und das Vorhandensein wertvoller Geräte voraussetzenden Luftbildmessung, daß sie mit der gewissen Aussicht auf Wirtschaftlichkeit nur von Behörden und von solchen Privatgesellschaften betrieben werden kann, denen durch amtliche Aufträge die notwendige Nachhaltigkeit des Unternehmens gesichert ist. In Deutschland wird durch die photogrammetrische Abteilung des Reichsamtes für Landesaufnahme in Berlin die Luftbildmessung praktisch ausgeübt, auch Stadtvermessungsämter, an ihrer Spitze das Vermessungsamt von Hamburg, bedienen sich ihrer mit wachsendem Erfolg. Einen ausführlichen Tätigkeitsbericht der letzteren Behörde enthält die von der „DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR PHOTOGRAMMETRIE“ bearbeitete Abhandlung „Luftbildwesen“ des Ausstellungsheftes der „Luftwacht“ (Berlin 1928). Hier finden sich auch wertvolle Darstellungen bisher durchgeführten Arbeiten der zur Zeit tätigen Privatgesellschaften, nam-

<sup>1</sup> J. TH. SOHEIMPFLUG, Erhaltung der Stabilität, wichtigste Formen und Verwendungsarten der Drachen, in HOERNES, Buch d. Fluges, Wien 1903. Vgl. auch MOEDERBECKS Taschenbuch f. Flugtechn. u. Luftschiffer, 4. Aufl., S. 111 u. 685.

<sup>2</sup> J. TH. SACONNY, Int. Arch. f. Photogramm. 2, 1911, S. 188.

<sup>3</sup> E. WENZ, Int. Arch. f. Photogramm. 2, 1911, S. 216.

<sup>4</sup> K. WEGENER, Prakt. Wetterkunde und Aerologie, in MOEDERBECKS Taschenb. f. Flugtechn. u. Luftschiffer, Berlin 1923.

<sup>5</sup> Vgl. besonders W. BASSE, Allg. Verm.-Nachr. 39, 1927, S. 577 ff.

h der AEROKARTOGRAPHISCHEN INSTITUT A-G in Breslau, der HANSA LUFT-  
D G m b H in Berlin, der JUNKERS LUFTBILDZENTRALE in Dessau-Leipzig  
d der PHOTOGRAMMETRIE G m b H in München

An gleicher Stelle und weiterhin in der „Luftwacht“ 1929, S 109 gibt  
LÜSCHER eine ausgezeichnete Übersicht über die Luftbildmessung im Aus-  
nd, die übrigens inzwischen eine starke Weiterentwicklung genommen hat

So sei hier nachgetragen, daß in den Vereinigten Staaten die Aerotopo-  
ph Corporation of America gegründet wurde, die sich unter Leitung von  
C BIRDSEYE, des verdienten Chefs der photogrammetrischen Abteilung

U S A GEOLOGICAL SURVEY, vor allem mit der Herstellung von Schich-  
karten befaßt und die in Washington mit drei Aerokartographen arbeitet  
rner bedient sich das Ministerium für Handel und Gewerbe in Bukarest  
es Autokartographen zur Herstellung des Minenkatasters

## B. Vorbereitung und Durchführung des Bildfluges

**60 Aufnahmedispositionen und wirtschaftliche Erwägungen.** Die erste Über-  
ung betrifft die Wahl der Flughöhe  $H$ . Sie ergibt sich aus dem geforderten  
maßstab  $1 : b$  bei einer Bildweite  $f$  der zu benutzenden Kammer zu

$$H = f : b \quad (1)$$

bei, wie zunächst auch bei allen folgenden Beziehungen, Senkrecht aufnahmen  
ausgesetzt sind, die heute in der Praxis fast ausschließlich verwendet werden  
r Bildmaßstab  $1 : b$  ist selbstverständlich abhängig vom Maßstab  $1 : k$  der  
absichteten Kartierung. Es gilt

$$b = k : n \quad (n \geq 1) \quad (2)$$

Da die von einer Aufnahme überdeckte Fläche  $Q$  bei einem nutzbaren  
cheninhalt  $\epsilon$  des Bildes

$$Q = \epsilon \frac{H^2}{f^2}$$

, dem Quadrat der Flughöhe wächst, wird man  $H$  so groß wählen, als es die  
dgute im weitesten Sinne im Hinblick auf die verlangte Genauigkeit des  
ultates noch zuläßt. Erfahrungsgemäß gilt

$$\left. \begin{array}{l} n = 1 \text{ bei hoher Anforderung} \\ n = 2 \text{ bei mittlerer Anforderung} \\ n = 3 \text{ bei geringer Anforderung} \end{array} \right\} \quad (3)$$

Außer dem Bild- und Kartenmaßstab ist noch der Maschinenmaßstab zu  
ücksichtigen, d. h. der Maßstab, in dem das Ausmeßgerät die Karte unmittel-  
iefert. Sollen Karten- und Maschinenmaßstab, wie das im allgemeinen  
unscht ist, identisch sein, so muß bei Wahl der Flughöhe der Arbeitsbereich  
öße der Zeichenfläche, Einstellungs- und Verschiebungsmöglichkeiten des  
usschlittens) des benutzten Kartierungsgerätes berücksichtigt werden.<sup>1</sup> Die  
ksichtnahme kann unterbleiben, wenn die Kartierungsgeräte in Verbindung  
einem Koordinatographen (S 102) und geeigneten Wechselgetrieben benutzt  
den.

Nach Feststellung der Flughöhe ist, falls nicht Einzel- oder Einzelstreifen-  
nahmen, sondern, wie zumeist, Flächenaufnahmen verlangt werden, der  
igbahnabstand  $A$  zu berechnen, der bei unmittelbarer, also überdeckungs-

<sup>1</sup> Vgl. z. B. FR. MANEK, Int. Arch. f. Photogramm. 6, 1923, S. 134, ferner  
SKRLBE, ebenda 5, 1919, S. 285.

loser Aneinanderreihung der Streifen gleich der ins Gelände projizierten, quer zur Flugrichtung liegenden (nutzbaren) Formatseite  $s_a$  ist

$$A = s_a \frac{H}{f}$$

oder bei der aus Sicherheitsgründen selbstverständlich zu fordernden Querüberdeckung von  $q\%$

$$A = s_a \frac{H}{f} \frac{100 - q}{100} \quad (4)$$

Die Berechnung der Abstände aufeinanderfolgender Aufnahmen innerhalb der Streifen, d. h. der Basislänge  $B$  bzw. der für ihre Zurücklegung erforderlichen Zeit, kommt heute praktisch kaum noch in Frage, da bei Verwendung von Reihenbildnern die Behohtung der Folgebilder zwangsläufig geschieht, wobei die Arbeitsgeschwindigkeit entsprechend der Flugzeuggeschwindigkeit über Grund geregelt werden kann (Überdeckungsregler, S. 236). Aber auch für modernste Handkammern, die in Aufhängestellen benutzt werden, können Hilfseinrichtungen geliefert werden, die optisch-mechanisch die Einhaltung einer vorgeschriebenen Überdeckung ermöglichen (S. 145 und S. 237). Da die Basis bei einer Längsüberdeckung  $l$  von 100% offenbar Null, bei 0% aber gleich der ins Gelände projizierten (nutzbaren) Formatseite  $s_l$  ist, so ist leicht zu erkennen, daß

$$B = s_l \frac{H}{f} \frac{100 - l}{100}, \quad (5)$$

so daß sich für das Intervall  $t$  (in Sekunden) zwischen aufeinanderfolgender Aufnahmen bei einer Grundgeschwindigkeit (S. 236)  $V$  (in m/sec) ergibt

$$t = \frac{B}{V} \quad (6)$$

Zur Vorbereitung eines Bildfluges gehört auch die Berechnung der Anzahl  $Z$  der erforderlichen Aufnahmen für die zu überdeckende Fläche  $F$ , eine Zahl, die überdies eine der wichtigsten Grundlagen für die Berechnung der Selbstkosten der nachfolgenden Kartierung ist. Bezeichnet man die von einer Aufnahme überdeckte nutzbare Fläche mit  $Q$ , so gilt

$$Z = \frac{F}{Q} \quad (7)$$

Es ist leicht einzusehen, daß  $Q$  dem aus der Aufnahmebasis  $B$  und dem Flugbahnabstand  $A$  gebildeten Rechteck entspricht, es gilt also gemäß (4) und (5)

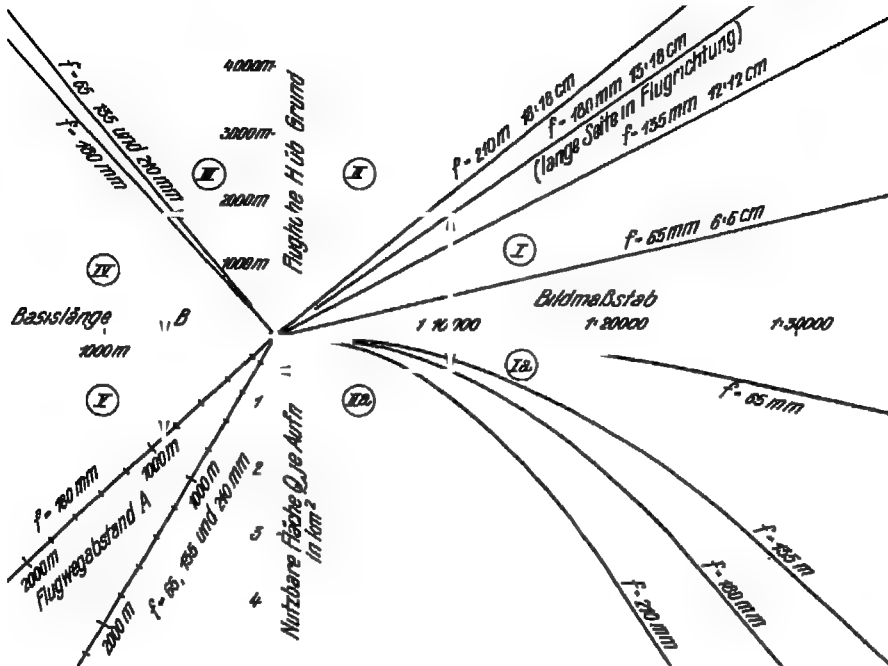
$$Q = \frac{s_l \cdot s_a}{f^2} \frac{100 - l}{100} \frac{100 - q}{100} H^2 \quad (8)$$

In dieser Gleichung ist, da man im allgemeinen mit derselben Kammer arbeitet und auch immer die gleichen als zweckmäßig und ausreichend erkannten Überdeckungsverhältnisse wählen wird, der Faktor von  $H^2$  eine Betriebskonstante die z. B. für den Reihenbildner  $f = 13,5$  cm  $s_l = s_a = 11$  cm (S. 153) und für  $l = 60$  und  $q = 20$  den Wert 0,21 annimmt. Demnach beträgt für  $H = 3000$  m die nutzbare Fläche einer Aufnahme  $1,9$  km<sup>2</sup>, womit sich bei gegebener Fläche  $F$  die erforderliche Aufnahmezahl durch eine einfache Division ergibt.

Zur Erleichterung der Anwendung der bisher abgeleiteten Beziehungen (1), (4), (5) und (8) dient das in Abb. 245 dargestellte, von H. GRÜNER entworfene Diagramm,<sup>1</sup> dessen Gebrauch sich ohne weiteres an Hand der dort angeführten

<sup>1</sup> Ähnliche Hilfsmittel wurden angegeben von H. DOCK, Planung von Vermessungsflügen f. Senkrechtaufnahmen, Prag 1927, und O. LACMANN, ZS f. Verm. 57, 1928, S. 497

spiele ergibt. Die diesem Diagramm zugrunde gelegte Längsüberdeckung 60% wird dann wesentlich geringer sein dürfen, wenn die Aufnahmen nur



245 Diagramm zur Ermittlung der Flugdaten für Raumbild-Senkrecht-aufnahmen 1. Bei dem vorgeschriebenen Bildmaßstab 1:10000 und der Kammerbildweite 180 mm (I) ergibt sich als Flughöhe (II) 1800 m, als Basislänge (III und IV) 660 m und als Flugabstand (V) 200 m. 2. Beispiel: Bei dem Bildmaßstab 1:10000 und der Kammerbildweite 180 mm (Ia) ergeben sich als nutzbare Fläche bei einer Querüberdeckung von 20% (IIa) 0,55 qkm je Aufnahme.

Herstellung eines Bildplanes (17) dienen sollen. Aber auch wird man die aus Sicherheitsgründen erforderliche Längsüberdeckung von 10% bis 20% inhaltlich größer wählen müssen, in die geforderte Genauigkeit Rücksicht auf die Höhenänderung des Geländes (S. 22) dadurch erreicht werden kann, man sich auf die Ausarbeitung der mittleren Teile der Bilder beruht. Die richtige Wahl der Überdeckung wird hierbei durch von H. Döckert & O. Veroffen-

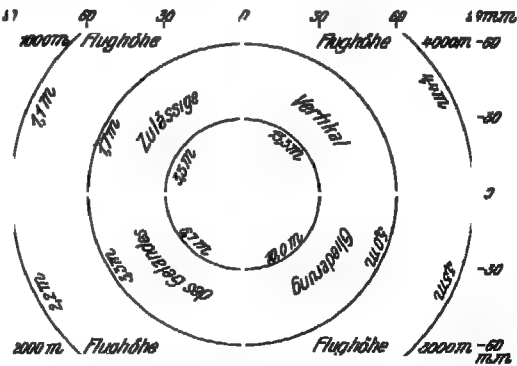


Abb. 246 Begrenzung des für das Entzerrungsverfahren ausnutzbaren Bildfeldes bei nicht ebenem Gelände

Diagramm wesentlich erleichtert. Es stellt Fehlerzonen in einer Aufnahme (180 mm, Format 13 x 18 cm) dar, unter der Annahme, daß der von Höhenunterschieden erzeugte Lagefehler 0,1 mm nicht überschreiten soll. So sieht man (linker unterer Quadrant), daß bei einer Flughöhe von 2000 m und 7 m

Höhendifferenz nur der hauptpunktnahe Teil, bei 3,3 m Höhendifferenz Bild nur bis einschließlich der Mittelzone und erst bei Höhendifferenz unter 2,2 m die Aufnahme voll ausgenutzt werden kann

Die den Beziehungen (1) bis (8) entsprechenden Gleichungen für Schrägaufnahmen sind weniger einfach, mit Rücksicht auf die heute geringere Bedeutung solcher Aufnahmen sollen für sie geltenden Aufnahmedispositionen nur auf (praktisch übrigens völlig reichendem) graphischem Wege dargelegt werden. Abb. 247 zeigt die Konstruktion

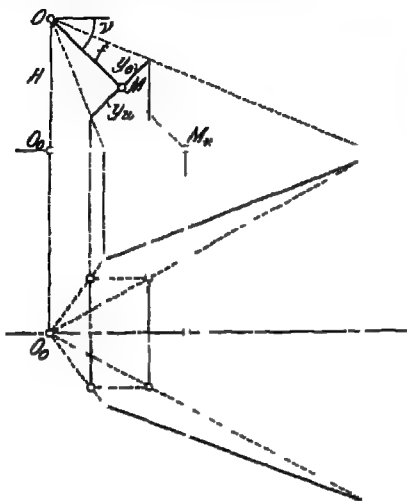


Abb. 217 Konstruktion des von einer Schrägaufnahme überdeckten Geländeabschnittes

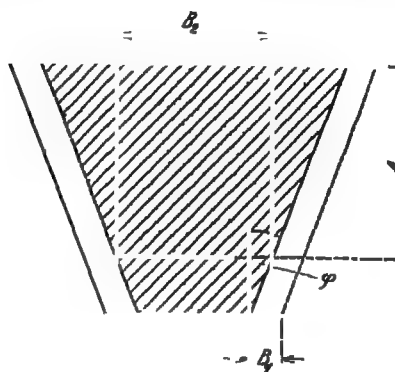


Abb. 218 Geländeüberdeckung durch ein Bildpaar

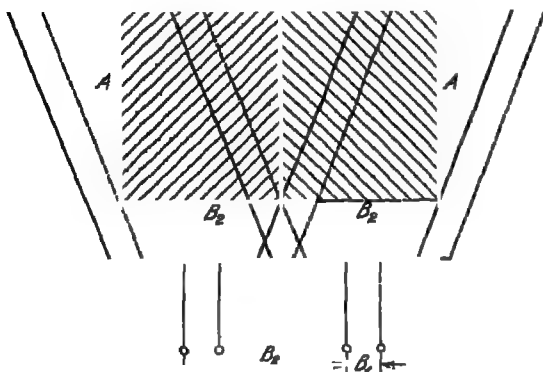


Abb. 219 Anordnung von Schrägbildpaaren

des von einer Schrägaufnahme überdeckten Gebietes, als „lerner“ Bildmaßstab  $1 : b_m$  hier der Maßstab in der Horizontalen, es ist

$$1 : b_m = f \sin \gamma : H$$

In Abb. 248 ist das von einem Bildpaar überdeckte Gelände wiedergegeben, die Basis  $l$  so zu wählen, daß  $B_1$  (Abb. 247) etwa  $1 : 3$  ist. In doppelt überdeckte Gebiete das Rechteck mit maximalem Flächeninhalt zu konstruieren.

Die Grundseite  $B_2$  dieses Rechtecks ergibt den Abstand benachbarter Aufnahmepaare (Abb. 249). Die Höhe  $l$  des Rechtecks bestimmt dagegen den Abstand benachbarter Flugbilder (Abb. 250). Aus  $B_2$  und  $A$  findet sich, wie leicht ersichtlich, die Anzahl  $Z$  erforderlichen Bildpaare

<sup>1</sup> Hierbei ist  $\gamma_0 \leftarrow \gamma_u$  wegen der meist mangelhaften Bildqualität in der Mitte zu wählen.

<sup>2</sup> Auf die Ableitung einer Formel für die Seiten dieses Rechtecks — als Funktion der parallelen Seiten, der Höhe und des Konvergenzwinkels  $\varphi$  des Trapezes — kann hier verzichtet werden, in der Praxis genügt schon mit Rücksicht auf die ungenauere Konstruktion eine Konstruktion nach Augenmaß.

Es wurde bereits kurz darauf hingewiesen, daß die Anzahl der zur Er-  
 ung eines bestimmten Bildauftrages erforderlichen Einzelaufnahmen nicht  
 für die Flugplanung, sondern auch für die Veranschlagung der Gestehungs-  
 ten des Endzieles, der Karte, von Bedeutung ist. Dabei wird der durch die  
 gkosten bedingte Anteil an diesen Kosten um so höher sein, je weniger Auf-  
 men während eines Fluges auszuführen waren. Für das Verhältnis der  
 zahl der aufzunehmenden Bilder zur Dauer des hierzu erforderlichen Fluges

W BASS<sup>1</sup> die Bezeichnung „Wirkungsgrad des Fluges“ eingeführt  
 ist offenbar bei Einzelaufnahmen und Streifenaufnahmen stark gekrummter  
 jekte (Flußläufe), da nur im Geradeausflug Meßbildaufnahmen gemacht  
 den können, am geringsten, bei Flächenaufnahmen am größten. Der Wir-  
 gsgrad wächst hier mit zunehmender Größe der Fläche und abnehmender  
 fernung des Aufnahmegebietes vom Flugstützpunkt. Bei Flächenaufnahmen  
 mt es aber nicht nur auf die Größe, sondern auch auf die Gestalt des  
 zunehmenden Gebietes an. Wirtschaftlich am günstigsten ist offenbar eine  
 kteckige, dem Vorgang der Flächenaufnahme durch Aneinanderreihen von  
 eifen am besten angepaßte Form. Je unregelmäßiger die Begrenzung des

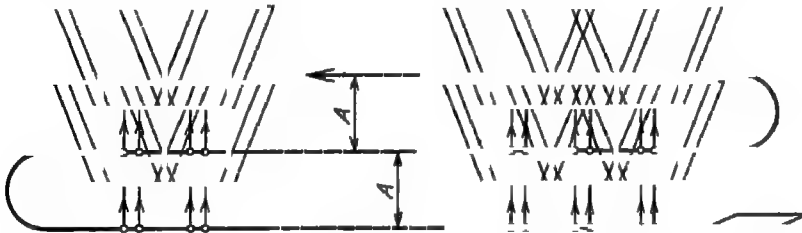


Abb 250 Flächenaufnahme mittels Schrägaufnahmen zur Raumbildmessung

nahmegebietes ist, um so größer wird praktisch das tatsächlich aufgenommene  
 net gegenüber demjenigen sein, das aufgenommen werden soll. Das Ver-  
 nis des letzteren zum ersteren nennt W BASS  $a$   $a$  0 den „Wirkungs-  
 d des Auftrages“. Er ist bei der Kostenveranschlagung ebenso in Betracht  
 ziehen wie der erwähnte Umstand, daß — besonders hinsichtlich der nach-  
 enden Ausarbeitung — die Gestehungskosten fast proportional der Anzahl  
 erforderlichen Aufnahmen wachsen. Die Zahl [siehe Gleichung (7)] wächst  
 abnehmender Größe der bei einer Einzelaufnahme ausnutzbaren Fläche,  
 Verhältnis der letzteren zu der von einem Einzelbild voll überdeckten Fläche  
 eichnet W BASS als den „Wirkungsgrad der Aufnahme“, der bei  
 eoskopischen Schrägaufnahmen am kleinsten und bei den sogenannten Ein-  
 aufnahmen am größten ist, hier aber (vgl Abb 246) mit zunehmender  
 enghederung des Geländes sinkt.

Mit Rücksicht auf die angedeutete Abhängigkeit der Kostenfaktoren einer  
 bildmessung<sup>2</sup> von der jeweiligen Sachlage können hier allgemein gültige  
 len selbstverständlich nicht gegeben werden. Immerhin sei erwähnt, daß

<sup>1</sup> W BASS, Allg. Verm.-Nachr. 39, 1927, S. 577, vgl. hierzu auch K. SLAWIK, da 40, 1928, S. 97.

<sup>2</sup> Kostenvoranschläge für terrestrisch photogrammetrische Arbeiten sind wesent-  
 schwieriger aufzustellen, vgl. hierzu O. LACMANN, Zentralbl. d. Bauverwalt. 1922,  
 80, K. DOMANSKY, Int. Arch. f. Photogramm. 6, 1923, S. 202, FR. MANEK,  
 da 6, 1923, S. 144.



nach M. J. UNGEWITTER<sup>1</sup> allein die Kosten der Abschreibung, Versicherung, Verzinsung von drei Flugzeugen — wenigstens in Deutschland mit seinen günstigen Wetterverhältnissen — einen Flugkostenanteil von etwa 30 RM je Quadratkilometer, Karte in 1:5000, bewirken.

Für die Gesamtkosten der Ausarbeitung eines größeren zusammenhängenden Gebietes — wohl ohne die Kosten der Reinzeichnung — ZUMPFORT<sup>2</sup> folgende ungefähre Preise je Quadratkilometer in Reichsmark

Luftbildskizze	Luftbildplan		Luftbildkarte		Karte i Höhenschicht und Luftbild
	ohne	mit	ohne	mit	
	Überlappung		Höhenschichten		
RM	RM	RM	RM	RM	RM
		Maßstab 1	10 000		
20—35	40—50	55—70	180—250	250—350	300—4
		Maßstab 1	5 000		
50—70	65—75	80—100	400—500	500—700	600—8

Nach FR. SEIDEL betragen bei der topographischen Grundkarte 1:500 AMRUM (S. 213) die Kosten einschließlich Reinzeichnung und aller Korrekturen 838 RM je Quadratkilometer. Sowohl die Zahlen ZUMPFORT als auch die Angaben SEIDELs liegt der (wirtschaftlich ungünstigste) Fall zugrunde, daß der Bildmaßstab gleich dem Kartenmaßstab ( $n=1$ , vgl. S. 22).

**61. Orientierung während des Fluges** Bei der Durchführung eines Fluges wird die Einhaltung der oben festgestellten Flugdaten, also zunächst vorgeschriebenen relativen Flughöhe gefordert. Letztere entspricht, das aufzunehmende Gelände nicht ein allgemeines starkes Gefälle zeigt, bestimmten, an einem Federbarometer (über Sonderkonstruktionen siehe S. 18) leicht abzulesenden absoluten Höhen, ihre Festhaltung kann dem vorher unterteten Piloten ohne Kontrolle durch den Beobachter überlassen werden, es auch im allgemeinen die Einhaltung einer im Gelände scharf vorgezeichneten speziellen Flugbahn (Streckenaufnahme eines Flußlaufes), unter der Voraussetzung, daß auch der Pilot eine gute Sicht nach unten und voraus hat. Da es dem Piloten praktisch nicht möglich ist, die für Flächenaufnahmen wendigen parallelen Flugbahnen von vorgeschriebenem Abstand ohne Mithilfe des Beobachters einzuhalten.

Rein flugtechnisch bereitet übrigens schon der Geradeausflug auf ein kantes, im Horizont gelegenes Ziel Schwierigkeiten, selbst bei völliger Luft ist hier dem durch Bauart und Antriebsmittel bedingten Bestreben des Flugzeuges, seine Bahn zu verlassen,<sup>3</sup> durch entsprechendes Ruderhalten entgegenzuwirken. Tritt Seitenwind auf, so wird sich das Flugzeug dem Fern in einer Kurve nähern, wenn nicht gleichzeitig aus Grundbeobachtungen „Abtritt“ festgestellt und berücksichtigt wird (Zielfernrohr von H. BOSS S. 236). Fehlt der ferne Zielpunkt, so werden zwar Richtungsänderungen längsachse des Flugzeuges am Ausschlag des Steuerkompaß (S. 233) erkannt.

<sup>1</sup> M. J. UNGEWITTER, Bildmess. u. Luftbildwes. 3, 1928, S. 40.

<sup>2</sup> L. ZUMPFORT, „Briefe“ d. Landesplanungsverbandes Düsseldorf, 1920, Vgl. hierzu auch H. LORKE, Bildmess. u. Luftbildwes. 1, 1920, S. 16.

<sup>3</sup> Über den Einfluß einer Querverwindung auf die Flugbahn bei Zielflügen vgl. JONES, Aerial Surveying, S. 12.

ht aber Richtungsänderungen der Flugbahn, wie sie durch Seitenwind erzeugt werden. Die Abtrift bewirkt auch, daß — wenigstens bei Hin- und Rückflügen — Flugbahnen auf gleichem bzw. um  $180^\circ$  verschiedenem Kompaßkurs konvergieren oder divergieren.

Die Orientierung des Flugzeuges nach parallelen gleichabständigen Bahnen verhältnismäßig leicht, wenn bereits eine Karte des aufzunehmenden Gebietes liegt. Man umrandet dann die zu kartierende Fläche und zeichnet (Abb. 251)<sup>1</sup> das Bahnsystem darüber, und zwar unter Verwendung des aus der Zeichnung (4) berechneten oder dem Diagramm Abb. 245 entnommenen Abstandes  $A$ . Die Einhaltung dieser vorgezeichneten Bahnen setzt ihre Auffindung während des Fluges voraus, das ist um so leichter möglich, je mehr Punkte der



251 Entwurf des Flugplanes in einer Übersichtskarte  $H = 1800$  m,  $A = 880$  m,  $B = 660$  m (vgl. Abb. 245)

Flugbahn sich vom Flugzeug aus mit den entsprechenden Geländepunkten identifizieren lassen, je abwechslungsreicher also das Gelände vor allem hinsichtlich der Situationseinzelheiten ist. Die Schwierigkeit der Identifizierung wächst mit der Zunahme der scheinbaren Geschwindigkeit, also mit abnehmender Flughöhe.

Der Pilot wird, falls er sich wegen mangelnder Sicht nicht selbst an dieser aktiven Orientierung beteiligen kann, den aus der Karte zu entnehmenden Werten um die Mißweisung verbesserten Kompaßkurs steuern. Der Beobachter hat die vor allem durch Abtrift notwendig werdenden Korrekturen, um diese auf ein Mindestmaß einzuschränken, wird man das Bahnsystem nicht beliebig über das Aufnahmegebiet, sondern, was nur kurz vor dem Start geschehen kann, in die Richtung des herrschenden Windes legen.

Fehlt eine brauchbare Karte, so ist eine Flächenaufnahme nur mit Hilfe besonderer Instrumente möglich. Zwar können unter Voraussetzung einer konstanten Windrichtung und bei Verlegung der Flugbahnen in diese Richtung

<sup>1</sup> Der Flugplan entspricht dem in den Abb. 268 bis 271 dargestellten Beispiel.

parallele Flugbahnen eingehalten werden, ihr Abstand läßt sich aber mit bisher erwähnten Instrumenten nicht regeln

Es ist vorgeschlagen worden, die vorliegende Aufgabe mittels eines buscherartigen Zielgerätes zu lösen, das an der Bordwand angebracht wird, Zielungen quer zur Flugrichtung gestattet. Die Zielrichtung ist gegen die Vertikale um einen Winkel  $\omega$  geneigt, der etwas kleiner ist als der Öffnungswinkel des Kammerbildfeldes (Abb 252). Damit werden die Richtpunkte für Nachbarstreifen während des Fluges bestimmt und dem Gedächtnis eingepreist. Der zweite Streifen wird so geflogen, daß die Merkpunkte  $P$  des ersten Streifen senkrecht unter dem Flugzeug liegen, während man „gleichzeitig am Sucherr neue Merkpunkte für den dritten Streifen aussucht“<sup>1</sup>.

Es bedarf keines Beweises, daß ein solches Gerät, das zuerst von E. MAUVE in Paris als „Viseur-derivomètre“ in den Handel gebracht wurde, keinen praktischen Wert besitzt, jedenfalls aber in einfürmigem Gelände völlig ausreicht.

Eine allen praktischen Anforderungen genügende über jedem beliebigen Gelände verwendbare Vorrichtung zur Erzielung des vorgeschriebenen

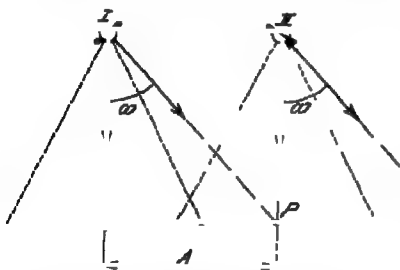


Abb 252 Wirkungswiese des Zielgerätes des Systems MAUVE zur Einhaltung des Flugbahnabstandes

abstandes muß offenbar den über Grund zurückgelegten Weg unmittelbar anzeigen, ähnlich wie etwa das Tachometer eines Kraftwagens. Ein solcher Grundgeschwindigkeits- bzw. Grundwegmesser (S 238) wurde erst in letzter Zeit von R. HUGERSHOFF (AEROTOPOGRAPH G m b H, Fabrika G. HEYDE, G m b H, beide in Dresden) angegeben.

Bisher waren nur indirekte Verfahren zur Lösung dieses Problems bekannt (graphische oder rechnerische Bestimmung der Grundgeschwindigkeit entweder aus Beobachtungen der Abdrift bei verschiede-

Kompaßkursen [Methode von G. COUTINHO oder Navigraph von L. P. F. Firma AERA in Paris] oder aus Beobachtungen der scheinbaren Geschwindigkeit über Grund und der Flughöhe in Verbindung mit besonderen Zeitmessungen [z. B. Cinémo-Dérivomètre nach DUGIT und BADIN, Firma AERA, ähnliche Geräte bauen die PIONEER INSTRUMENT Co. in New York und H. HUTCHINSON & Son Ltd. in London, der „Kurs- und Geschwindigkeitssucher“ von BOYKOW<sup>2</sup> beruht auf dem gleichen Prinzip].

Alle diese indirekten Methoden kommen wegen ihrer Umständlichkeit bei Bildflügen nicht in Betracht.

Der neue Grundgeschwindigkeitsmesser nach R. HUGERSHOFF gestattet die Abstände benachbarter Flugbahnen unmittelbar zu messen. Beim Einschwenken der Kursänderung um  $90^\circ$  — nach Beendigung einer Streifenaufnahme — liest man das Zählwerk des Wegmessers ab und gibt das Zeichen zum Einschwenken.

<sup>1</sup> W. BASSE, a. a. O.

<sup>2</sup> Die im Handel befindlichen Vorrichtungen zur Messung der Flugzeuggeschwindigkeit relativ zum Wind (Staudruckmesser, wie das „Luft-Logg“ der PIONEER INSTRUMENT Co., New York, oder Windräder mit Tourenzähler) werden oft fälschlich als „Grundgeschwindigkeitsmesser“ bezeichnet.

<sup>3</sup> Probleme der terrestrischen Navigation im Luftfahrzeug in Arbeit des Luftnavigationsausschusses v. Navig.-Ausschuß der Wissenschaftl. Ges. f. Luftfahrt, München, Berlin 1927.

len neuen Streifen, sobald das Zählwerk die Zurücklegung des vorgeschriebenen Abstandes anzeigt. An die Stelle der Ablesung des Abstandes kann die Aufnahme der gesamten Flugbahn treten, wenn man den ebenfalls von R. HUGERSFF angegebenen „Flugwegzeichner“ (S 239) benutzt.

Über die Hilfsmittel zur Einhaltung der vorgeschriebenen Längsüberdeckung der Folgebilder innerhalb eines Streifens — die Benutzung einer Stoppschraube in Verbindung mit einer bisher nur schätzungsweise möglichen Bestimmung

Grundgeschwindigkeit ist auch bei Verwendung von Handkammern verst — siehe S 237 ff.

**62. Höhenmessung.** Die Erreichung einer vorgeschriebenen mittleren Höhenlage und damit auch einer bestimmten, aus der Summe der Meereshöhe des Geländes und der relativen Höhe sich ergebenden absoluten Flughöhe wird allgemein mittels Federbarometers festgestellt, dessen Skala für die liegende Aufgabe meist unmittelbar nach Metern über dem Meere beziffert.

Da aus meteorologischen Gründen der Luftdruck in der gleichen absoluten Höhe beträchtlichen Schwankungen unterworfen ist, die sich in Höhenunterschieden von oft mehr als hundert Metern auswirken können, so stellt man die drehbar angeordnete Höhenmessung vor dem Start so ein, daß der Zeiger die Meereshöhe des Startortes angibt.

Für die auf S 198 ff. geschilderten, an Festpunkten im Gelände auszuführenden Methoden zur Orientierung und Einzelaufnahmen und Bildpaaren eine genaue Kenntnis der absoluten Aufnahmehöhe nicht erforderlich,

man kann aber bei der Durchführung der Aerotriangulation die Kenntnis

der Höhe ein wertvolles Hilfsmittel zur Sicherung des Ergebnisses und zur Vervollständigung der Reichweite des Verfahrens sein. Die Voraussetzung hierfür ist allerdings zunächst die konstruktive Anpassung des Federbarometers an besondere Verhältnisse während des Fluges.<sup>1</sup> Ein Federbarometer ist

ein Flugzeug außer starken Temperaturänderungen, die sich in bekannter Weise fast vollkommen kompensieren lassen, in besonderem Maße einerseits dem Einfluß starker Erschütterungen bzw. störender Beschleunigungen und andererseits dem Einfluß elastischer Nachwirkungen unterworfen. Die ersteren lassen sich in der in Abb 253 schematisch angedeuteten, von der Firma C. P. GOERZ eingeführten Weise dadurch ausschalten, daß die Übertragungshebel  $h$  bezug auf ihre Drehpunkte symmetrisch ausgebildet sind und daß die ebenfalls symmetrisch liegenden Druckdosen  $B$  von verschiedenen Seiten angreifen. Diese Konstruktion zeigt übrigens bei der Verwendung im Flugzeug nur geringe Nachwirkungserscheinungen, sie folgt also rasch den auftretenden Druckschwankungen. Eine fast restlose Beseitigung der Nachwirkung gewährleistet eine von BENNEWITZ angegebene und ebenfalls von der Firma C. P. GOERZ verwendete Konstruktion (Abb 254). Die beiden in entgegengesetzter Richtung wirkenden Druckdosen  $B_1$  und  $B_2$  sind durch Verwendung geeigneten Materials und zweck-

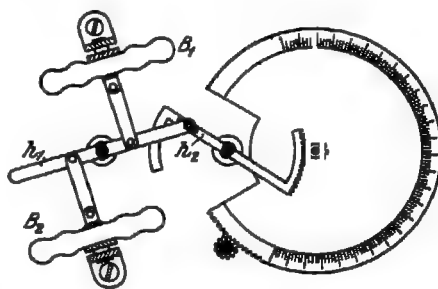


Abb 253 Federbarometer mit Kompensation der Erschütterungs- und Beschleunigungseinflüsse (Firma C. P. GOERZ)

<sup>1</sup> W. MEISSNER, Entfernungs- und Höhenmessung in d. Luftfahrt Braunschweig  
<sup>2</sup> E. EVERLING und H. KOPPE, ZS d. Ver. deutsch. Ing. 66, 1922, S. 322

mäßige Abmessungen auf nahezu gleiche lineare Größe der Nachwirkung geb. Zur Eliminierung des Restes wird der Drehpunkt  $P$  des Hebels  $h$  so verschoben (und dann festgestellt), daß die beiden Arme dieses Hebels sich wie die Dose infolge der Nachwirkungsreste verhalten. Dementsprechend erfährt der Punkt  $P$  durch die elastische Nachwirkung keine Verlagerung, wohl aber eine solche Verlagerung — und damit eine Drehung des Zeigers  $Z$  — Luftdruckänderung em, die sich an  $B_2$  stärker auswirkt als an  $B_1$ .

Wichtiger noch als die genaue Feststellung der absoluten Aufnahme wäre für die Triangulation die Einhaltung einer bestimmten Aufnahme- oder mindestens die Möglichkeit zur exakten Feststellung ihrer Änderung Aufnahme zu Aufnahme. Ein geeignetes Gerät hierfür ist das in der Technik bereits bewährte Statoskop,<sup>1</sup> das in seiner einfachsten Form wesentlich ein Federbarometer ist, in dessen Druckdose die Außenluft durch eine verschleißbare Öffnung eintreten kann. Verschließt man die Dose in einer bestimmten Höhe, so wird, da Außen- und Innendruck zur Gleich sind, der Zeiger in seiner Nullstellung so lange verharren, als die g

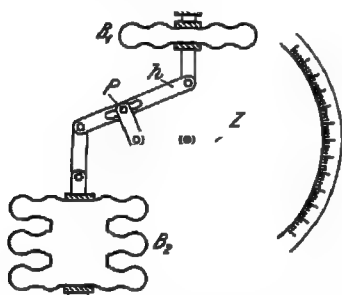


Abb. 254 Federbarometer mit Kompensation der elastischen Nachwirkung (nach K. BENNEWITZ)

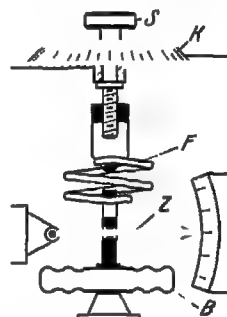


Abb. 255 Konstruktionschema des Statoskops (ASKANIA-WERKE)

erreichte Druckschicht nicht verlassen wird, jedes Steigen oder Fallen wirkt eine entsprechende Zeigerdrehung aus. Aus bestimmten physikalischen Gründen ist die in Abb. 255 schematisch dargestellte, allerdings kompliziertere Konstruktion (ASKANIA-WERKE in Berlin-Friedenau) vorzuziehen. Spannfeder  $F$  hebt die Druckdose  $B$  so, daß ein auf letzterer ruhender Zeiger auf den Nullpunkt einer Skala einspielt. Jede Luftdruckänderung bewirkt Ausschlag des Zeigers, der durch Drehung der Schraube  $S$ , die die Federkraft ändert, wieder in seine Nullstellung gebracht werden kann. Die jeweilige Nullstellung ist offenbar ein Maß für den Luftdruck, der an dem Teilkreis  $K$  abgelesen ist. Bringt man also nach Erreichung einer vorgeschriebenen Höhe den Zeiger in die Nullstellung, so ermöglicht die Beobachtung des Zeigers die Einhal-

<sup>1</sup> Ein Variometer ist ein Federbarometer, dessen Druckdose dauernd (zwar durch eine Kapillare) mit der Außenluft in Verbindung steht. Hier wird Höhenänderung ebenfalls durch einen Zeigerausschlag angegeben, dessen Größe von der Geschwindigkeit der Druck bzw. Höhenänderung abhängt. Das Instrument kommt, da es auf allmähliche Höhenänderungen nicht anspricht, für den liegenden Zweck nicht in Frage.

<sup>2</sup> Dabei ist vorausgesetzt, daß der allgemeine Luftdruck keiner zeitlichen oder lokalen Änderung unterliegt, die Eliminierung dieser Änderungen könnte in der üblichen Weise durch Verwendung je eines Barographen im Flugzeug und inmitten des Aufgebotes erfolgen.

vorgeschriebenen Höhe oder aber die Messung der eintretenden Flugendifferenzen, und zwar mit großer Genauigkeit, da die Hubbewegungen Dose in starker Vergrößerung in Erscheinung treten

In Verbindung mit genauen Messungen der absoluten Höhe könnte auch unmittelbare und exakte Bestimmung relativer Höhen unter Umständen der aerophotogrammetrischen Erschließung von Neuländern wesentliche leisten. Relative Höhenmessungen sind zur Bestimmung der Fluggeschwindigkeit über Grund jedenfalls erforderlich. Von den verschiedenen theoretisch möglichen Verfahren<sup>1</sup> zur direkten Bestimmung der relativen Flughöhe zurzeit nur die Echo-Lotung, und zwar mit dem von A. BEHM (Kiel) angegebenen „Luftlot“ praktisch erprobt.<sup>2</sup> Seine Konstruktion ist schematisch Abb. 256 wiedergegeben. Eine um eine horizontale Achse drehbare Schwungradscheibe *S* trägt eine Nase *N*, die von dem Elektromagneten *M*<sub>1</sub> (Stromkreis *I*) gezogen wird, wobei sich die Blattfeder *F* spannt. In dieser Stellung wird von der Lichtquelle *L* beleuchteter Spalt über den auf der Schwungradscheibe

stehenden Spiegel *Sp* auf dem Nullpunkt einer Skala *Sk* abgebildet. Ein bei *P* geloster Schuß trifft auf das in den Stromkreis *I* eingeschaltete Eingangsmikrophon *M*<sub>1</sub>, und schwächt damit den Strom, so daß *M*<sub>1</sub> die Nase *N* freigibt und das Schwungrad unter der Einwirkung von *F* zu laufen kommt. Dabei wandert das Spaltbild entlang der Skala bis zum Eintreffen des Schalles, das die Weiterdrehung der Schwungradscheibe durch die federnde Bremse *Br* hemmt. Nach Auslösung der Bremse geschieht in ähnlicher Weise wie die Ingangsetzung der Schwungradscheibe die Bremse liegt im allgemeinen am Elektromagneten *M*<sub>2</sub>, mit dem Stromkreis *II*, an das Empfangsmikrophon *M*<sub>2</sub> eingeschaltet.

Die Bremse wird durch die vom Echo betriebe Stromschwächung freigegeben.<sup>3</sup> Der vom Spaltbild zurückgelegte Weg bei konstanter Schallgeschwindigkeit proportional der Höhe über Grund, daher die Skala unmittelbar beziffert ist. Die Genauigkeit des BEHM'schen Gerätes ist sehr groß, sie kann mit 1/100 der Flughöhe veranschlagt werden.

**63. Richtungsweisung und Abtriftbestimmung.** Das wichtigste Gerät zur Untersuchung und vor allem zur Einhaltung einer vorgeschriebenen Richtung nach der Längsachse des Flugzeuges ist der Kompaß. Am gebräuchlichsten zurzeit noch der Magnetkompaß. Im Flugzeug<sup>4</sup> soll ein Kompaß mit einer Nadel verwendet werden, die von den in der Nähe befindlichen Eisenmassen weniger beeinflusst wird, diese Eisenmassen müssen zudem durch kleine Magneten kompensiert werden. Die Schwingungsdauer der Nadel soll möglichst gering sein, durch geeignete Aufhängung der Nadel in einer Flüssig-

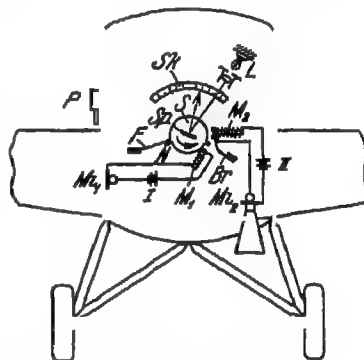


Abb. 256 Konstruktionschema des „Luftlotes“ nach A. BEHM

<sup>1</sup> H. KOPPE, Die Höhenmessung in der Luftnavigation in Arb. z. Luftnavigation, Olden und Berlin 1927

<sup>2</sup> E. SCHREIBER, Prüfung und Abnahme von Echoloten, Bericht F 15/5 der ach Versuchsanstalt f. Luftfahrt, Berlin 1929

<sup>3</sup> Über weitere technische Einzelheiten, wie z. B. die Ausschaltung des Empfangsmikrophons beim Abgang des Schalles, vgl. A. BEHM, Ann. d. Hydrographie 50, 1, S. 289. Eine andere Art des Ablesens beschreibt H. KOPPE a. a. O.

<sup>4</sup> K. WEGENER, Die Führung d. Flugzeuges in MOEDERBECK'S Taschenb. f. Flug- und Luftschiffer, Berlin 1923

kert (meist Glycerin) wird bewirkt, daß die Eigenschwingungen rasch verklingen. Der Kompaß ist fest zu montieren, eine cardanische Aufhängung bringt die Nadel zum Pendeln, auch ist zu beachten, daß die Nadel in scharfen Kurven ihre Richtkraft verliert. Geeignete Instrumente liefern in Deutschland die Firma W. LUDOLPH A.-G. in Bremerhaven und die ASKANIA-WERKE in Berlin.

Erleichtert wird die Kurshaltung bei Verwendung eines Fernkompasses, bei dem der eigentliche Kompaß weitab von störenden Eisenmassen etwa im Schwanz des Flugzeugs untergebracht ist, vor dem Piloten befindet sich ein Richtungszeiger, dessen Ausschläge genau denen der Magnetnadel gegen einen vorgeschriebenen Kurs entsprechen. Die Verbindung von Kompaß und Zeiger geschieht bei einer von den ASKANIA-WERKEN gelieferten Konstruktion pneumatisch, indem eine auf der Magnetnadel angebrachte und von ihr gedrehte exzentrische Scheibe zwei Luftströme beeinflusst, die saugend, bzw. druckend

auf eine den Zeiger betätigende Membran wirken.

Dem Magnetkompaß in verschiedener Beziehung überlegen ist der Erdinduktionskompaß der PIONEER INSTRUMENT CO. in New York. Seine Wirkungsweise beruht auf dem Einfluß des magnetischen Erdfeldes auf einen im Flugzeug eingebauten Generator. Der Einfluß ändert sich mit veränderter Lage des Generators und damit des Flugzeugs zu den Kraftlinien der Erdfeldes, die dadurch er-

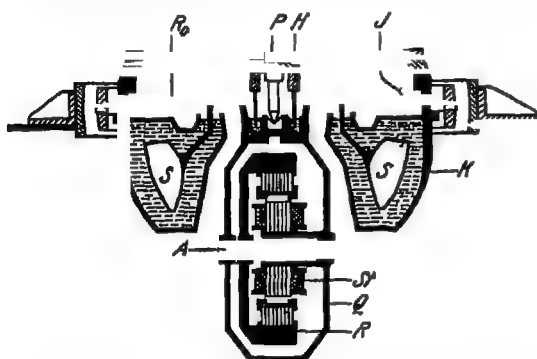


Abb. 257 Schematischer Vertikalschnitt durch einen Einkreisellkompaß nach Anschütz

zeugten Stromschwankungen sind eine Funktion des jeweils gesteuerten magnetischen Azimuts, das nun an einem entsprechend bezifferten Galvanometer unmittelbar abgelesen werden kann. Man erkennt, daß hier auf einfachste Weise eine Fernübertragung, und zwar gleichzeitig zum Piloten und zum Beobachter möglich ist.

In Gebieten mit unbekannter oder lokal stark veränderlicher magnetischer Mißweisung kann die Verwendung eines Kreiselkompasses<sup>1</sup> vorteilhaft werden. Ein solcher besteht in seiner einfachsten Form (Einkreisellkompaß nach N. Anschütz, Abb. 257) aus zwei Teilen, dem Hangesystem und dem Schwimmsystem. Das erstere ist im wesentlichen eine ringförmige, oben teilweise geschlossene und cardanisch aufgehängte Rinne, der „Kompaßkessel“ *K*. Dem mit Quecksilber gefüllten Kessel ist eine Glasplatte aufgesetzt, in deren Zentrum sich die Pinne *P*, bzw. die Hülse *H* befindet. Das Schwimmsystem besteht aus dem ringförmigen Schwimmer *S*, der Kompaßrose *Ro* und der aus Nickelstahl gefertigten Kreiselkappe *Q*. Die schwimmende Rose wird durch die Pinne *P* zentriert, die Ablesung ihrer Teilung erfolgt am Index *J*, dem „Steuerstrich“. Der eigentliche Kreisel oder „Rotor“ *R*, der um die horizontale Achse *A* rotiert, besteht aus einem Nickelstahlschwungrad und darin eingepreßten Kupferstäben, er stellt den Kurzschlußanker eines Drehstrommotors von 20000 Umdrehungen in der Minute dar. Der Kreisel wird durch den in der Kreiselkappe *Q* fest eingebauten „Stator“ *St* des Elektromotors in Bewegung gesetzt. Seine

<sup>1</sup> H. MELDAU, Kleines Kreiselkompaß-Lexikon, Hamburg 1922

eisenkerne werden durch Wechselströme magnetisiert, die durch die Pinne  $P$ , die Hülse  $H$  und die Kappe  $Q$  eintreten

Außer den die Richtungsänderungen und absoluten Richtungen anzeigenden Kompassen gibt es noch solche Instrumente, die nur Richtungsänderungen angeben, die sogenannten Wendezeiger. Sie beruhen meist darauf, daß in einer Kurve die Windgeschwindigkeit an den beiden Flugelenden eine Differenz ergibt, die eine Funktion der Richtungsänderung ist. Die Windgeschwindigkeit, an der Winddruck kann durch zwei Propeller oder Schalenkreuze (Fernübertragung durch Tachometer oder — bei Zwischenschaltung eines Generators — durch Voltmeter) oder durch zwei Staudruckmesser (Pitotröhren) bestimmt werden, im letzteren Falle erfolgt die Übertragung durch Schlauchleitungen zu zwei Manometern. In der Praxis werden meist Kreiselgeräte vorgezogen. Die in einer Vertikalebene winkelrecht zur Längsachse des Flugzeuges angeordnete und in dieser Ebene bewegliche Achse eines Kreisels ist beim Geradeausflug parallel zu den Tragdecks, in einer Kurve dagegen wird wegen der Schiefelage des Flugzeuges die Kreiselachse mit den Tragdecks einen Winkel bilden, der ebenfalls die Richtungsänderungen richtig angibt, vorausgesetzt allerdings, daß das Flugzeug „richtig“ liegt, was dann der Fall ist, wenn ein einfaches Instrument seine Nullage nicht verläßt.<sup>1</sup> Derartige Kreisel werden mit elektrischem Antrieb von F. DREXLER (Steuerzeiger) gebaut, windangetriebene Kreisel (turbinenartige Ausbildung des Kreiselkörpers) liefern u. a. die ASKANTIA-WERKE in Berlin (Wende-Zeiger).

Es wurde schon darauf hingewiesen, daß bei Hin- und Rückflügen die Einhaltung desselben Kompaßkurses, bzw. eines um  $180^\circ$  verschiedenen Wertes nicht genügt, um parallele Flugbahnen zu erhalten, falls Seitenwind auftritt. Dabei werden die Flugbahnen sogar gekrümmte Linien, wenn die Windstärke und damit die Abtrift sich ändert. Die Abtrift muß also gemessen und durch entsprechende Änderung des Steuerkurses berücksichtigt werden. Ein Abtriftmesser besteht in seiner einfachsten Form aus einem Zielfaden  $F$  (Abb 258), der auf einem wagrechten, in seiner Ebene verdrehbaren Kreisring  $R$  angebracht ist. Der Kreisring selbst wird in geeigneter Weise über einem Bodenloch im Aufhänger befestigt. Beobachtet man von einem festen, senkrecht über  $F$  liegenden Punkt aus durch den Kreisring hindurch die unter dem Flugzeug hinziehende Landschaft und dreht dabei den Kreisring so, daß der Zielfaden parallel zur Zugrichtung des Geländes wird, so läßt sich der augenblickliche Abtriftwinkel an der Gradteilung des Kreisringes unmittelbar ablesen. An Stelle dieser einfachen Vorrichtung verwendet man zweckmäßiger einen kammerartigen Bildsucher, dessen Objektiv auf der drehbaren, mit einem System von parallelen Linien versehenen wagrechten Mattscheibe ein Bild der vorbeiziehenden Landschaft wirft. Hier ist die Beobachtung unabhängig von einer bestimmten Stellung des Auges.

Ein solcher Bildsucher ist zur Verhinderung einer diagonalen Überdeckung der Folgebilder notwendig auch an der Aufnahmekammer anzubringen (vgl. Abb 174 und 186), die Ziellinien des Bildsuchers werden hier durch Drehung der Kammer mit der Zugrichtung in Übereinstimmung gebracht.

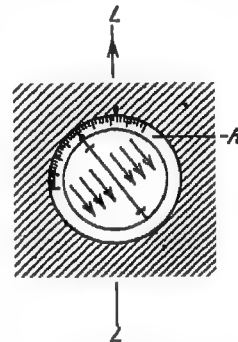


Abb 258 Schema eines Abtriftmessers

<sup>1</sup> E. EVERLING, Neigungsmesser und Wendezeiger für Flugzeuge, Arbeiten zur Luftnavigation, Berlin 1927



Zum gradlinigen Anfliegen eines fernen Zielpunktes bei beliebig wechselnder Stärke des Seitenwindes hat H. BOYKOW ein Zielfernrohr konstruiert, das in Abb. 259 durch einen schematischen Vertikalschnitt dargestellt ist. Die horizontale Zielachse  $H$  des Fernrohres mit dem Objektiv  $O_1$  und dem Okular  $O$  kann um die vertikale Achse  $V$  verschwenkt werden. In diese Achse ist das Objektiv  $O_2$  eines Abtriftmessers eingebaut. Beide Objektive haben eine gemeinsame Bildebene  $B$ , so daß man bei zunächst zur Längsachse des Flugzeuges parallelem Fernrohr in oberen Teil des Gesichtsfeldes des Okulars einen Fernpunkt  $Z$  einstellen bzw. ansteuern kann und gleichzeitig im unteren Teil die senkrecht unter

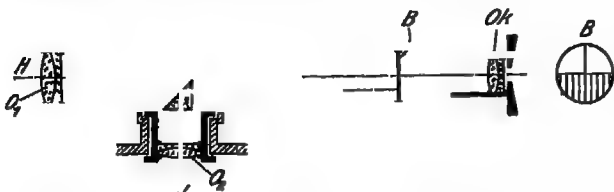


Abb. 259 Zielfernrohr nach H. BOYKOW zur Einhaltung einer vorgeschriebenen Flugbahn

dem Beobachter befindliche Landschaft erblickt (Lage A in der nur schematische Abb. 260). Die Landschaft wird sich parallel zu den in der unteren Gesichtsfeldhälfte angebrachten Linien bewegen, wenn keine Abtrift vorhanden ist. Anderenfalls (Lage B in Abb. 260) dreht man das Fernrohr im horizontalen Sinne, bis die Zugrichtung parallel den Zielfäden wird, und bringt den Fernpunkt  $Z$  durch entsprechende Kursänderung (Lage C in Abb. 260) erneut an den mittleren Zielfaden.

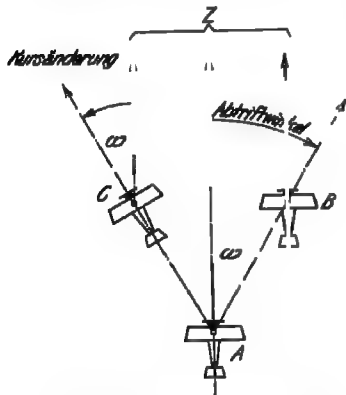


Abb. 260 Wirkungswiese des BOYKOWSchen Zielfernrohrs

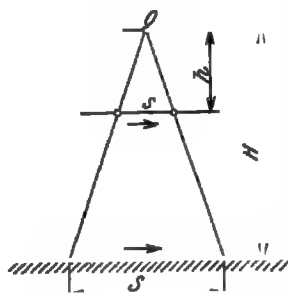


Abb. 261 Messung der Geschwindigkeit über Grund

Zeit  $t^{\text{sec}}$  mißt, die ein beliebiger Geländepunkt braucht, um eine durch Querschnitten abgegrenzte Strecke  $s$  auf dem Zielfaden zu durchlaufen. Bezeichnet man den Abstand des Augpunktes  $O$  (Abb. 261) vom Zielfaden mit  $h$  und die Flughöhe über Grund mit  $H$ , so gilt für die vom Flugzeug in  $t^{\text{sec}}$  überflogene Strecke  $S$

$$S = s \frac{H}{h} \quad (1)$$

woraus für die Grundgeschwindigkeit  $V$  folgt

$$V = s \frac{H}{h} \frac{1}{t}$$

Macht man den Abstand  $h$  veränderlich und regelt ihn nach Feststellung von  $l$  (s. S. 231) so, daß z. B.  $h = \frac{H}{10000}$ , während  $s = 0,1 \text{ m}$  sei, so erhält man

$$V = \frac{1000}{t}$$

meinsame Bildebene  $B$ , so daß man bei zunächst zur Längsachse des Flugzeuges parallelem Fernrohr in oberen Teil des Gesichtsfeldes des Okulars einen Fernpunkt  $Z$  einstellen bzw. ansteuern kann und gleichzeitig im unteren Teil die senkrecht unter

64 Geschwindigkeitsmessung und Überdeckungsregelung. D. bisher bei Luftbildaufnahmen gelegentlich angewandte rechnerische Methode zur Bestimmung der Geschwindigkeit über Grund besteht darin, daß man unter Benutzung eines Abtriftmessers (Abb. 258) die

Es wurde schon auf S 224 darauf hingewiesen, daß man heute die Grundgeschwindigkeit zur Überdeckungsregelung in der Flugrichtung nicht mehr verwendet, man benutzt hierzu vielmehr den oben erwähnten an der Kammer angebrachten Abtriftregler, auf dessen Zielfaden zwei Querstriche in einem solchen Abstand  $b$  angebracht sind, daß dieser Abstand dem Bilde der Aufnahmebasis  $B$  Flugweg zwischen aufeinander folgenden Bildern bei 1% Langsüberdeckung) entspricht. Beobachtet man im Augenblick der Belichtung der ersten Aufnahme einen zufällig am ersten Querstrich befindlichen Geländepunkt, so ist die Belichtung der zweiten Aufnahme dann auszuführen, wenn der gleiche Geländepunkt am zweiten Querstrich erscheint. Für die Meßstrecke  $b$  gilt zu-

$$b = B \frac{h}{H},$$

daraus in Verbindung mit Gleichung (5) von S 224 folgt

$$b = s_1 \frac{100 - l}{100} \frac{h}{f} \quad (2)$$

Diese optische an Handkammern verwendete Überdeckungsregelung ist unabhängig von der Flughöhe und erfordert keine Zeitmessung, sie hat außerdem den Vorteil, daß sie sich mit einer einfachen Abänderung zur mechanischen Regulierung der Aufnahmegeschwindigkeit von Reihenbildnern verwenden läßt. Die Abänderung besteht darin, daß man langs des Zielfadens (Abb 258) eine Marke wandern läßt, und zwar mit der gleichen (scheinbaren) Geschwindigkeit, mit der das Gelände durch das Gesichtsfeld des Abtriftmessers zieht. Man hat bei nur dafür zu sorgen, daß die Verschlußauslösung immer dann erfolgt, wenn die Marke die Strecke  $b$  zurückgelegt hat. Statt einer einzigen Marke verwendet man zweckmäßig eine Reihe von fest miteinander verbundenen Marken. Derartige Überdeckungsregler wurden bereits vor 1918 in Verbindung mit dem Messtischen Reihenbildner benutzt. Die wandernden Marken hatten hier die Form von gleichabständigen, winkelrecht zum Zielfaden angeordneten Linien. Die Firma CARL ZEISS verwendet gleichabständige Spitzen an der Peripherie einer Kreisscheibe, deren Durchmesser im Verhältnis zum Gesichtsfeld des Abtriftmessers so groß ist, daß die Abweichung der Spitzenbahn von der geraden Zugbahn des Geländes wenig in Erscheinung tritt. R. HUGERSHOFF stellt im Bildfeld des Sucherobjektivs einen Zylinder rotieren, auf dem eine Schraubenlinie von der Ganghöhe  $b$  aufgetragen ist. Der Zylinder ist gekuppelt mit dem Antriebsmechanismus des Reihenbildners, dessen Geschwindigkeit reguliert wird, daß sich Schraubenlinie und Gelände mit gleicher Geschwindigkeit durch das Sucherfeld bewegen. Nach je einer Umdrehung des Zylinders erscheint ein beliebiger Punkt der Schraubenlinie um die Strecke  $b$  folgt die Auslösung des Verschlusses.

Die Strecke  $b$  [vgl. Gleichung (2) oben] ist abhängig vom Überdeckungsverhältnis. Sollen verschiedene Überdeckungsverhältnisse verwendet werden, ist bei der Messtischen und der Zeiss'schen Einrichtung die Einschaltung in besonderen Wechselgetrieben zwischen Überdeckungsregler und Reihenbildner erforderlich. Bei Schraubenreglern geschieht dies einfach durch Ausschaltung des Schraubenzylinders oder durch Verwendung von Schrauben mit veränderlicher Ganghöhe. Eine Einrichtung der letzteren Art<sup>1</sup> ist in Abb 262 im Teil im Vertikalschnitt, zum Teil in der Draufsicht dargestellt. Das Objektiv  $O$  mit der Brennweite  $h$  der am Reihenbildner befestigten Sucherkammer  $K$

<sup>1</sup> R. HUGERSHOFF, D. R. P. angem.

entwirft ein Bild des Geländes auf der Mattscheibe  $M$ , in deren Ebene die Achse des Zylinders  $Z$  liegt. Letzterer ist durch das Kegelradgetriebe  $G$  zwangsläufig mit dem Antriebsmechanismus des Reihenbildners verbunden, wird also durch diesen in Rotation versetzt. An dieser Rotation nimmt eine Drahtspirale  $Sp$  teil, von der ein Ende  $a$  unmittelbar am Zylinder befestigt ist, während das andere Ende  $e$  in einem Gleitring  $R_1$  sitzt, der durch Nut und Feder mit dem Zylinder in Verbindung steht. Der Gleitring kann durch den Stellring  $R_2$  verschoben und durch die Klemmschraube  $S$  festgestellt werden. Jede Verschiebung von  $R_2$  entspricht einer Änderung der Ganghöhe der Spirale und damit einer Änderung des Überdeckungsverhältnisses, dessen jeweilige Größe mittels des Index  $J$  an der Teilung  $T$  unmittelbar abgelesen werden kann. Der Reihenbildner ist dabei durch Drehung um seine (vertikale) optische Achse so einzustellen (Abb 186), daß die Zugrichtung des Geländes parallel zu den Mantellinien des Zylinders  $Z$  wird.

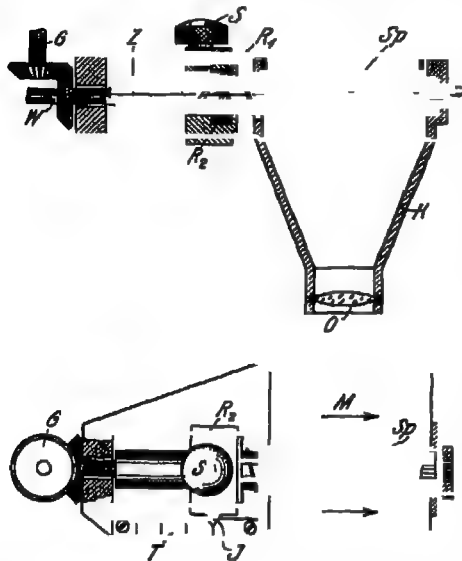


Abb 262 Schematische Darstellung des Grundgeschwindigkeitsmessers nach R. HUGERSHOFF

Die eben beschriebene Konstruktion bildet einen Bestandteil des von R. HUGERSHOFF angegebenen mechanischen Grundgeschwindigkeitsmessers,<sup>1</sup> mit dem zum ersten Male die Aufgabe gelöst ist, am Zeiger eines — ähnlich dem an Kraftwagen verwendeten — Tachometers die Grundgeschwindigkeit und an einem Zählwerk die über Grund zu rückgelegte Flugstrecke unmittelbar abzulesen. Zwischen der scheinbaren Geschwindigkeit  $v$ , mit der sich das Bild des Geländes durch das Sucherfeld des Abtriftmessers bzw. Überdeckungsreglers bewegt und der tatsächlichen Geschwindigkeit  $V$  über Grund besteht, entsprechend der Gleichung (1) auf S 236, die Beziehung

$$V = v \frac{H}{h} \quad (3)$$

Verbindet man also die Welle  $W$  des Zylinders  $Z$  (Abb 262, oben) mit einem der gebräuchlichen Tachometer, so kann man beispielsweise für die Flughöhe  $H = 1000$  m durch Zwischenschaltung einer geeigneten Übersetzung erreichen, daß das Tachometer unmittelbar die Geschwindigkeit über Grund anzeigt, da ja die Umdrehungsgeschwindigkeit der Zylinderwelle, die mit Hilfe der Schraubenlinie der scheinbaren Geschwindigkeit angepaßt wurde, dieser scheinbaren Geschwindigkeit proportional ist. Hat das Flugzeug in der doppelten Höhe über Grund die gleiche Grundgeschwindigkeit  $V$ , so wird hier die scheinbare Geschwindigkeit nur noch halb so groß sein. Die zur Einstellung der scheinbaren Geschwindigkeit dienende Schraubenlinie darf sich jetzt nur noch halb so schnell vorwärts bewegen als in  $H = 1000$  m, wobei aber die Rotationsgeschwindigkeit der das Tachometer antreibenden Zylinderwelle unverändert beibehalten werden muß. Das kann auf zweifache Weise geschehen durch Änderung der Ganghöhe der Schraubenlinie, die mit wachsender Flughöhe kleiner werden muß, oder durch Änderung des Abstandes  $h$ , im vorliegenden Falle also durch Verwendung

<sup>1</sup> R. HUGERSHOFF, Bildmess u. Luftbildwes 3, 1920, S 24 und D. R. P. angem.

in Objektiven mit verschiedener Brennweite, wobei bei größeren Flughöhen die größeren Brennweiten zu verwenden sind. Wurde man also in dem oben angeführten Beispiel nach dem Aufsteig von  $H = 1000$  auf  $H = 2000$  m statt des in der ersten Höhe verwendeten Objektivs von der Brennweite  $h$  ein solches von der Brennweite  $2h$  benutzen, so würde das Geländebild dieselbe scheinbare Geschwindigkeit zeigen wie der ersten Höhe aus praktischen Gründen haben bei der endgültigen Ausführungsform (Abb 263) des Grundgeschwindigkeitsmessers (Fabrikation GEYDE & Co. in Dresden) die Möglichkeiten zur gegenseitigen Anpassung von Marken- und Bildgeschwindigkeit bei wechselnder Flughöhe Verwendung gefunden. Der Sucher kann wahlweise vier Objektive vorgeschaltet werden, die den mittleren Flughöhen  $H = 1000, 2000, 3000$  und  $4000$  m entsprechen. Die Abweichungen in diesen Flughöhen (je  $\pm 500$  m) werden durch Verstellung des Index  $R_2$  (Abb 262) berücksichtigt, dessen Index  $J$  auf Teilungen  $T$  gleitet, die gemäß der Flughöhenbezifferung sind. Ein besonderer Vorzug des Gerätes liegt darin, daß die kontinuierliche Anpassung an die Höhenänderungen ohne Friktionsgetriebe, also völlig zwangsläufig geschieht.

65. Flugwegzeichner Die Konstruktion eines den Flugweg mechanisch aufzeichnenden Apparates setzt das Vorhandensein eines mechanisch wirksamen Grundgeschwindigkeitsmessers, und zwar eines solchen voraus, bei dem die Grundgeschwindigkeit als Rotationsgeschwindigkeit einer Welle ( $\omega$  in Abb 262) in Erscheinung tritt. R. HUGENSHOFF hat seinen eben

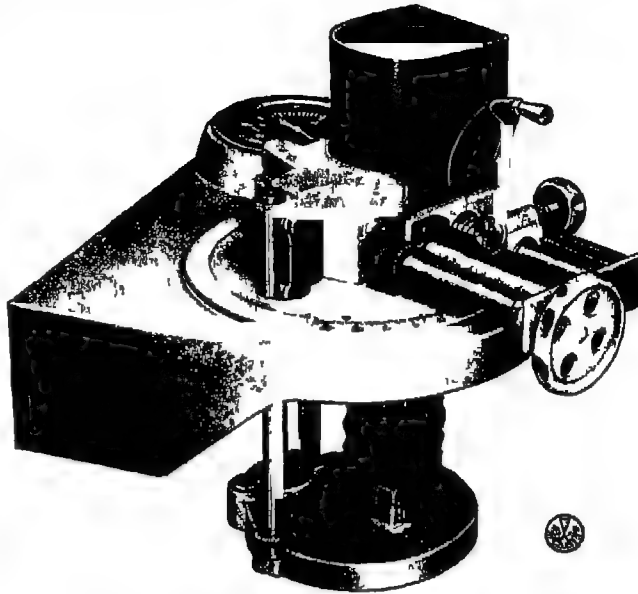


Abb 263 Grundgeschwindigkeits- und Flugwegmesser nach R. HUGENSHOFF

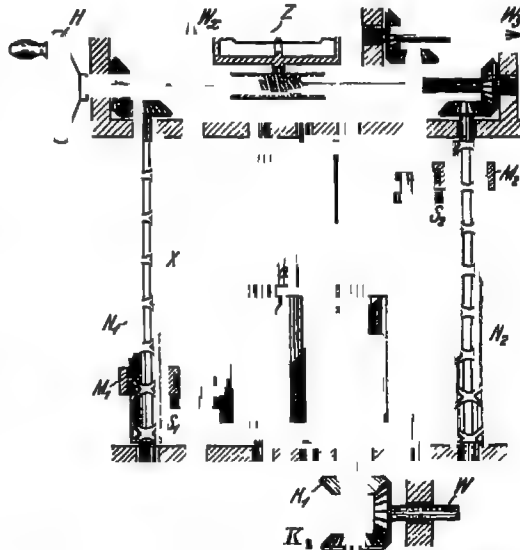


Abb 264 Konstruktionsschema des Flugwegzeichners nach R. HUGENSHOFF

Die Konstruktion eines den Flugweg mechanisch aufzeichnenden Apparates setzt das Vorhandensein eines mechanisch wirksamen Grundgeschwindigkeitsmessers, und zwar eines solchen voraus, bei dem die Grundgeschwindigkeit als Rotationsgeschwindigkeit einer Welle ( $\omega$  in Abb 262) in Erscheinung tritt. R. HUGENSHOFF hat seinen eben

beschriebenen Grundgeschwindigkeitsmesser, der diese Forderung erfüllt, da durch zu einem automatischen Wegzeichner ausgebaut, daß er die von der Abtriebswelle  $W$  entnommene Grundgeschwindigkeit  $V$ , die im astronomischen Azimut  $A$  wirksam sein mag, in ihre Komponenten in bezug auf den astronomischen Meridian und die Winkelrechte dazu zerlegt, also so, daß je eine weitere Welle  $W_n$  und  $W_y$  (Abb 264) die Rotationsgeschwindigkeit

$$V_n = V \cos A$$

bzw

$$V_y = V \sin A$$

aufweist. Beide Wellen wirken mittels einer Kreuzschiittenführung gleichzeitig auf einen Zeichenstift  $St$  (Abb 265), so daß der von ihm auf einer Zeichenfläche beschriebene Weg mit der Geschwindigkeit

$$V = \sqrt{V_n^2 + V_y^2}$$

zurückgelegt wird. Die Wegaufzeichnung erfolgt dabei durch ein zwischengeschaltetes Wechselgetriebe wahlweise im Maßstab 1 : 5000 oder 1 : 50000.

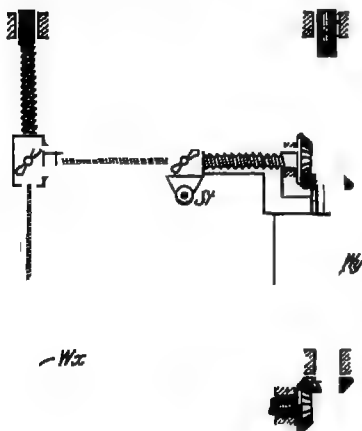


Abb 265 Zeichenvorrichtung zum Flugwegzeichner

Von Interesse ist hier die Zerlegung der Abtriebsgeschwindigkeit  $V$  in ihre beiden Komponenten. Sie geschieht (Abb 264) in folgender<sup>1</sup> Weise. Die Abtriebswelle  $W$  wirkt mittel des Kegelrades  $K_1$  gleichzeitig auf die beiden Staffelwalzen (vgl. die Filmwechsellkassette nach R. HUGERSHOFF, Abb 142)  $a$  und  $b$ , und mittel des Kegelrades  $K_2$  auf die Staffelwalzen  $c$  und  $d$ . Das untere Walzenpaar dreht sich rechtsläufig, wenn sich das obere Paar linksläufig dreht. Die Länge der einzelnen Staffeln ist so bemessen, daß die Verbindungslinie ihrer Endpunkte in der Abwicklung des Walzenmantels dem Schaubild der Sinus- bzw. Cosinusfunktion von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$  entspricht. Die Staffelwalzen übertragen nun ihre Rotationswege soweit dies durch das Vorhandensein von Staffeln ermöglicht wird, mittels der auf den

Nutenwellen  $x$  und  $y$  verschiebbaren Starnräder  $S_1$  und  $S_2$  unmittelbar auf die Komponentenwellen  $W_n$  und  $W_y$ . Die Verschiebung der Starnräder geschieht durch Rotation der Nutenwellen  $N_1$  und  $N_2$ , die mit Gegenwinden versehen sind, so daß die Mitnehmer  $M_1$  und  $M_2$  selbsttätig umkehren, wenn sie an den Enden der Nutenwellen  $N_1$  bzw.  $N_2$  angekommen sind. Die letzteren werden mittels des Handrades  $H$  gleichzeitig angetrieben, mit diesem Antrieb ist das Kompaßgehäuse (oder ein mit Index versehener Ring desselben) durch Schnecke und Schneckenrad so gekuppelt, daß der bei einer Drehung des Index um  $180^\circ$  von den Mitnehmern  $M_1$  bzw.  $M_2$  zurückgelegte Weg gleich der Gesamtlänge der beiden koaxialen Walzen  $b$  und  $d$  bzw.  $a$  und  $c$  ist.

Das Gerät ist im allgemeinen so justiert, daß sich der Mitnehmer  $M_1$  an unteren Rand der Walze  $b$  und  $M_2$  genau zwischen den Walzen  $a$  und  $c$  befindet, wenn der Index des Kompaßgehäuses in die Längsachse des Flugzeuges zeigt. Der Bleistift (Abb 265) zeichnet jetzt eine Parallele zur  $x$ -Achse des Kreuzschiittens, die einer Nord-Südrichtung der Flugzeuglängsachse entspricht, wenn

<sup>1</sup> Bei der ersten Ausführung des Gerätes, vgl. R. HUGERSHOFF, Bildmess. u. Luftbildwes. 4, 1920, S. 24, wurde ein anderes Verfahren angewandt.

Richtungszeiger  $Z$  des Kompasses (im allgemeinen die Magnetnadel) auf den Index einstellt. Steuert nun der Pilot genau Ostkurs, so wird die Nadel um  $90^\circ$  an Index abweichen, dreht man diesen mittels des Handrades  $H$  zurück, so wird der mit dem Richtungszeiger erneut koinzidiert, so gelangt  $M_1$  auf die Spalte zwischen den Walzen  $b$  und  $d$ , während  $M_2$  an das untere Ende der Walze  $a$  kommt. Demnach zeichnet der Bleistift jetzt eine zur ersten Bahnlinie Winkelrechte nach rechts, er zeichnet also den jetzt eingeschlagenen Ostkurs auf.

Bei Verwendung eines Magnetkompasses (S. 233) kann der Index gegenüber dem Kompaßgehäuse eine besondere Verdrehung entsprechend der herrschenden Mißweisung erfahren, so daß die aufgezeichnete Richtung immer dem astronomischen Azimut zunächst der Flugzeuglängsachse entspricht, während aber wird der Indexring entsprechend der herrschenden Abtrift dreht, das geschieht zwangsläufig durch eine Kuppelung des Indexringes mit Abtriftscheibe (Abb. 258) des Grundgeschwindigkeitsmessers. Infolgedessen

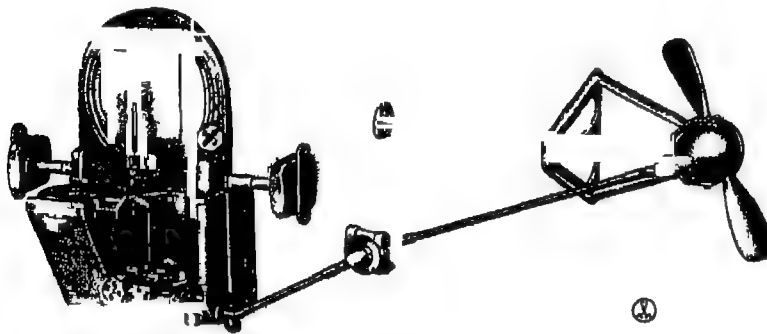


Abb. 258 Ansicht des Flugwegzeichners nach R. HUGENHOFER

spricht die aufgezeichnete Linie dem astronomischen Azimut der Flugbahn.

Die jetzige Ausführungsform des Gerätes („Quo vadis“, Fabrikation HEYDE, G. m. b. H., Vertrieb AEROTOPOGRAPH G. m. b. H. in Dresden) zeigt Abb. 259. Es besteht aus Geschwindigkeitsmesser mit Abtriftregler, Kompaß, Zeicheneinrichtung und regulierbarem Antriebsmotor. Die Verwendung für Luftbildaufnahmen (Flachenaufnahmen) besteht darin, daß man dem Fluge auf der Zeichenfläche die parallelen Flugbahnen nach Länge und Abstand im Kartierungsmaßstab des Wegzeichners aufträgt. Nach Erreichung der vorgeschriebenen Flughöhe sucht man zweckmäßig die günstigste Richtung, d. h. (nahezu) die Richtung des herrschenden Windes, und zeichnet ein Stück der in dieser Richtung zufällig beflogenen Linie, die beispielsweise west-östlich verlaufen mag. Dann dreht man die auf einer Kreisscheibe ruhende Zeichenfläche, so daß die vorgezeichneten Parallelen ebenfalls west-östlich verlaufen und stellt die Arbeitsebene an geeigneter Stelle an. Kurz vor Erreichung der Grenze bringt man den Bleistift (dessen Führungsschlitten zu dem Zweck mit der Transportschraube gelöst werden können) auf den Anfangspunkt der in der kommenden Bahnlinie und setzt den Reihenbildner in Tätigkeit. Der Photograph hat jetzt die Kammer entsprechend der (geringen) Abtrift zu drehen.

und durch Regulierung der Geschwindigkeit des Reihenbildnerantriebes d wandernden Marken auf die Laufgeschwindigkeit des Landschaftsbildes z bringen. Der Beobachter reguliert ebenfalls die Geschwindigkeit der in d Zugrichtung gestellten Markenreihe und halt den Richtungszeiger in Koizider

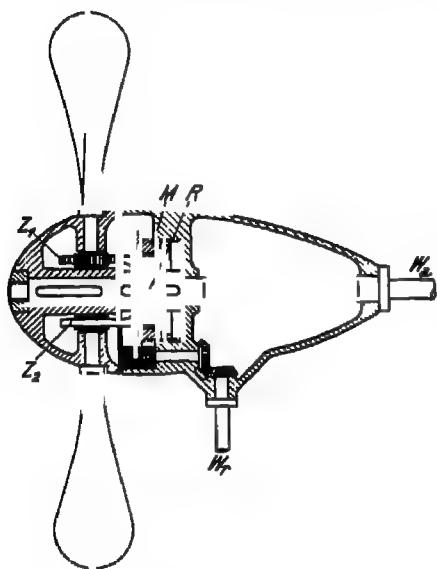


Abb 267 Propeller mit veränderlicher Flügelverwindung

mit dem Kompaßindex. Zeigt der Bleistift Abweichungen von der vorgeschriebene Richtung, so erhält der Pilot die notwendigen Zeichen. Am Ende des ersten Streifens wird der Reihenbildner ausgeschaltet und der Pilot sucht jetzt in einer möglichst weiten Kurve die nächste Streifenlinie zu erreichen. Während dieses Kurvenfluges hat der Beobachter dauernd den Kompaßindex dem Richtungszeiger nachzuführen und Abtriefs- und Geschwindigkeitsänderungen durch die entsprechenden Stellschrauben zu kompensieren. Sobald der Bleistift anzeigt, daß die Flugbahn in die neue Streifenrichtung einmündet, erhält der Pilot das Zeichen zur Wiederaufnahme des alten bzw. um 180° geänderten Kurses und der Fotograf die Anweisung zur Einschaltung des Reihenbildners.

Als Antriebsmittel für die geschilderten Aufnahme- und Orientierungsgeräte werden vielfach Elektromotoren benutzt, die ihren Arbeitsstrom meist

von einem Generator mit Propellerantrieb, seltener aus Akkumulatoren beziehen. Am einfachsten ist im allgemeinen der direkte, also rein mechanische Antrieb (Abb. 266) mit Hilfe eines Propellers, dessen Tourenzahl durch Änderung der Flügelverwindung in weiten Grenzen geregelt werden kann. Die Verwindung erfolgt, wie es in Abb. 267 schematisch dargestellt ist, in leicht verständlicher Weise durch zwei geschränkte auf dem Ring R sitzende Zahnstangen Z<sub>1</sub> und Z<sub>2</sub>, die während des Betriebes verschoben werden können. Das geschieht durch Drehung der Reglerwelle W<sub>r</sub>, die eine Mutter M verschiebt. Letztere nimmt den Ring R mit, der innerhalb der Mutter frei rotieren kann und dabei seine Drehbewegung mittels Nut und Feder auf die Abtriebswelle W<sub>a</sub> überträgt.



Abb 268 Luftbildskizze (S 217), hergestellt nach Aufnahmen aus einem JUNKERS W 38 für die AEROKARTOGRAPHISCHES INSTITUT A.-G., Breslau. Man beachte die Wegversetzung z.B. in der SW-Ecke, hervorgerufen durch Höhenunterschiede und Neigung der Einzelaufnahmen







Abb 269 Luftbildplan (S 217), hergestellt nach den in Abb 268 wiedergegebenen Aufnahmen mit Entzerrungsgerät Abb 24, S 21, durch die  
AEROKARTOGRAPHISCHES INSTITUT A.-G., Breslau





Maßstab 1:5000  
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000



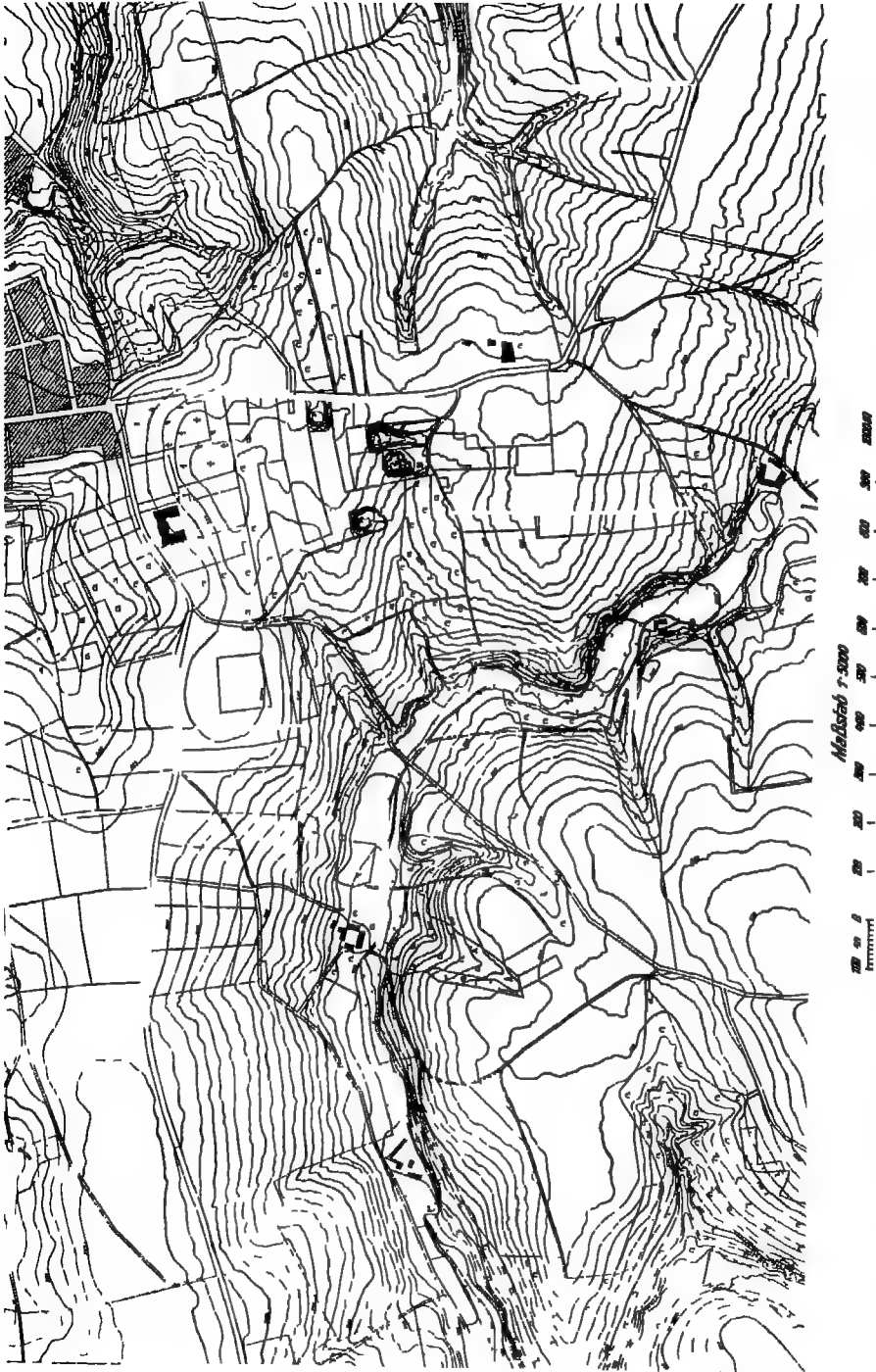


Abb 271 Lage- und Schleitenplan, hergestellt mit den Aerokartographen (Abb 120, S 100) nach den in Abb 268 und 269 wiedergegebenen Aufnahmen



# Namen- und Sachverzeichnis

- Ablaufzeit eines Verschlusses 113  
 Abstände aufeinanderfolgender Flieger-  
 aufnahmen, Berechnung der 224  
 „Abstandsebenen“ 17  
 Abtiff 89, 145, 152, 154, 185, 228, 229,  
 241  
 Abtiffmesser 235, 237  
 Achsenkreuzverfahren zur Orientierung  
 von Einzelaufnahmen 164  
 AERA (Paris) 218, 230  
 Aerochromfilm der AGFA 110  
 Aerokartograph 80, 98, 100, 101, 116,  
 154, 159, 182  
 — nach HUGERSHOFF 98, 99  
 AEROKARTOGRAPHISCHES INSTITUT A G,  
 Breslau 223  
 Aerophotogrammetrie (Definition) 1  
 Arbeitsergebnisse, aerophotogrammetri-  
 sche, Wirtschaftlichkeit der 217  
 Aerosimplex 4, 60, 83, 84, 85, 94, 95, 149  
 AEROTOPOGRAPH G M B H 21, 43, 45,  
 84, 122, 123, 125, 126, 127, 143, 148,  
 152, 156, 163, 230, 239, 241  
 Aerotriangulation 103, 103, 215, 231  
 — in Normalreihen 157  
 Aerovermessungsfilm der ZEISS IKON  
 A G 116  
 Aktionsradius eines Flugzeuges 210, 221  
 ALBADA L E W VAN 194  
 Allgemeempfindlichkeit einer licht-  
 empfindlichen Schicht 119  
 Anaglyphen-Verfahren 83  
 Anthropologie, photogrammetrische Auf-  
 nahmen für die Zwecke der 142  
 Antriebsmotoren für Wechselkassetten 126  
 Anwendungsgebiete und Vorzüge des  
 photogrammetrischen Verfahrens 6  
 Architekturaufnahmen 8  
 — Rekonstruktion von 12  
 ARNEBERG, J 26  
 Arundelverfahren 38, 76  
 ASCHENBRENNER CL 18, 21, 67, 149,  
 196  
 ASKANIA-WERKE 105, 141, 232, 234, 235  
 Aufhänguvorrichtungen für Fliegerkam-  
 mern 145  
 Aufnahme, photogrammetrische eines  
 Sees 14  
 — — eines Straßenzuges 31  
 — — Organisation der 222  
 Aufnahmebasis 52, 92  
 Aufnahmedispositionen und wirtschaft-  
 liche Erwägungen bei Durchführung  
 eines Bildflugs 223  
 Aufnahmegeräte 103  
 Aufnahmegeschwindigkeit, mechanische  
 Regulierung der, bei Reihenbildnern  
 237  
 — von Reihenbildnern, mechanische  
 Regulierung der 237  
 Aufnahmehöhe, absolute eines Flug-  
 zeuges 232  
 — einer photogrammetrischen Station 38  
 Aufnahmen, beliebig orientierte 55  
 — ebener und ebenflächiger Gebilde 9  
 — für kolomaltopographische Zwecke 110  
 — — militärische Zwecke 110  
 — konvergente 55  
 — mit geneigter Kammerachse 15  
 — schwach konvergente 209  
 — stark konvergente 209  
 — terrestrische 44, 109  
 — transformierte 40  
 — verschwenkte 69  
 — wagrechte, steiler Berghänge 193  
 Aufnahmehöhe, absolute eines Flug-  
 zeuges 232  
 Aufnahmeobjektiv, Verzeichnungsfehler  
 des 3  
 Aufnahmerichtung, Ermittlung der 173  
 Augenabstand an Stereobetrachtungs-  
 geräten 57  
 Ausmeßplatte 15  
 Austrittspupille 57  
 Auswertung, punktweise von Schlägauf-  
 nahmen 212  
 Autogrammetrie 60  
 Autograph nach H WILD 60, 71, 73,  
 74, 90, 91, 95, 101, 212, 213  
 Autokartograph nach R HUGERSHOFF  
 60, 86, 89, 93, 94, 97, 99, 116, 159,  
 162, 195, 212, 213



- Azimut astronomischer der Flugrichtung  
 (Flugzeuglängsachse) 241  
 Azimutbestimmung durch Aufnahme  
 einer Uhrangabe 106
- BAESCHLIN, E 72, 75, 162  
 BAGLEY, J W 135, 150, 164  
 Ballonkammer 194  
 BALTENSBERGER, J 7, 212  
 Barograph 232  
 BARR A & W STROUD 96  
 Basis einer photogrammetrischen Auf-  
 nahme 35  
 Basisausrückung bei verschwenkten Auf-  
 nahmen 69  
 Basisbrücke des Stereoautographen 79  
 Basisgröße und Entfernungsfehler 50  
 Basiskomponenten 69  
 Basisplatte nach R HUGERSHOFF 140  
 Basisplatte 132, 139  
 Basischritten des Autokartographen 89,  
 93, 94  
 — des Stereoautographen 68  
 Basisstamm 69  
 BASSE, W 7, 217, 222, 227, 230  
 BAUERSFELD W 4, 5, 81, 94, 98  
 BEAUTEPS BEAUVERÉ 1  
 Bebauungsprojekte, photogrammetrische  
 Aufnahmen für 28  
 BECKER, K 8  
 BEHM, A 233  
 BENNETT, A H 108  
 BENNEWITZ, K 231, 232  
 BERCHTOLD, E 72  
 BERGER, G T 77  
 BERTILLON, A 16  
 Beschleunigungseinflüsse bei Flugzeugen,  
 Kompensation der 231  
 Betrachtung, stereoskopische von Bil-  
 dern 51  
 Betrachtungsstereoskop, einfaches 58  
 — für pseudoskopische Betrachtung 85  
 Betrachtungssystem, optisches für den  
 Stereokomparator nach R HUGERS-  
 HOFF 59  
 Bewässerungsanlagen, Aufnahmen für 7  
 BEYERLAN, C 61, 62, 63  
 Bezugnetz, allgemeines für photogram-  
 metrische Rekonstruktionen 13  
 — Quadratnetz als 14  
 Bezugnetze, reguläre 13  
 Bildebene, Anliegen der, am Bildrahmen  
 157  
 Budenzerrung nach Th SCHEMPFLUG  
 178  
 Bildfeldkreis 109  
 Bildfeldwinkel 107  
 Bildhauptpunkt 9, 10, 157, 158, 170  
 Bildhauptpunkt, graphische Bestimmung  
 des 160  
 Bildhorizont 9, 104  
 Bildmarken 10, 104, 144, 151, 157  
 — Beleuchtung der, mit Leuchtmasse 104  
 Bildmeßtheodolit 44, 46, 71, 72, 177,  
 182, 170, 173, 174, 175, 176  
 — KOPFESCHER 86  
 — nach R HUGERSHOFF 45, 162  
 — — J PORRO 71, 86  
 Bildneigung gegen die Kammerachse 207  
 Bildnetz, EICHBERGSCHES 16  
 Bildorientierung, innere 158  
 — paarweise 157, 180, 182  
 — — optisch-mechanische Methoden  
 der 103, 183  
 — — rechnerische Durchführung der  
 174, 180  
 Bildpunkte, Identifizierung der 49, 50  
 Bildpunktkoordinaten, Transformation  
 der bei verkanteten Aufnahmen 41  
 Bildpyramide 168  
 Bildrahmen 103, 157, 158  
 Bildschärfe 111  
 Bildsucher 107  
 Bildsucherrahmen 146  
 Bildträger des Bildmeßtheodoliten 45  
 — — WILDSCHEN Autographen 75  
 Bildträgerobjektive, Verzeichnungs-  
 fehler der 191  
 Bildweite der Aufnahmekammer 45, 157,  
 158, 206  
 — der Rahmenoberfläche, photographische  
 Bestimmung der 159, 160  
 — des Markenrahmens 162  
 — exakte Bestimmung der 162  
 — graphische Ermittlung der zufälligen  
 160  
 — zufällige, graphische Ermittlung der  
 160  
 — —, rechnerische Ermittlung der 160  
 Bildweitenfehler 207  
 Biologie, Aufnahmen photogrammetrische  
 für die Zwecke der 142  
 BIRDSEYE, C H 150, 223  
 Blinkmethode nach C LUIFRICH 80  
 Bodenorganisation für den Flugdienst  
 222  
 Bodenpunkte, signalisierte 212  
 BOHLER, M 132  
 BOER, J 106  
 BOSCHARDT, R 108  
 BOWDIN Zug 148  
 BOYKOV, H 4, 82, 94, 150, 155 194,  
 236  
 BREITHAUP & SOHN 137  
 Brenzkathodenentwickler 119  
 BRIDGES LEE 120

- rieftauben, photographische Aufnahmen durch 221  
 ROCK & WRYMOUTH 38, 75  
 romalbergelatineplatten, gewöhnliche 117  
 UCHHOLTZ, A 8  
 üscheldeformation 207  
 üscheldrehung 207  
  
 admiumsulfid-Glasfilter 118  
 imera lucida 2  
 APPELER, M A 1  
 ardan Aufhängung einer Flugzeugkammer 145  
 ardangelenke, optische 96, 97  
 ARLIER, A H 9, 121  
 ASSELLA, C F 128  
 ASSINIS, G 81, 85  
 AVALIER, A 134  
 Dérivomètre nach DUGIT und BADIN 230  
 BERO, I P 9, 108  
 БР, II v 8  
 bilinear-Objektiv 138  
 impurverschluß 113, 127  
 BRBIN, P 7  
 „Brex“-Entwicklung 120  
 Brex Wickelvorrichtung 120  
 BUTINEO G, 230  
 CANZ, H 6, 8, 43, 46, 50, 106, 108, 150, 160, 168, 171, 206, 210  
 „Cindrograph Reihenbildner nach H BOYKOW 154  
 C APSKI, S 18  
  
 „Cigor (Objektiv) 109, 134  
 AGUERRE, L J M 2  
 ALMEIDA, J Ch 83  
 ALWICK, F v 173  
 BOKEL, FR 112  
 „formationsparallaxen 202  
 „klinationsdifferenz zweier Sterne 35  
 IMMER, E 211  
 „Inkmalpflege, Photogrammetrie im Dienste der 8  
 „Ialwiedergabe 117  
 „UTSCHE GESELLSCHAFT FÜR PHOTOGRAMMETRIE 222  
 „VILLE, E 4, 79  
 „VILLESCHE Prinzip 61, 62, 63  
 „stanzlatte 132  
 TTLEB, R 51  
 „CK, II 55, 65, 224, 225  
 „gniar (Objektiv) 109  
 „KULIR, FR 16, 43  
 „ETŠVI, II 1, 2, 4, 8 30 31, 32, 43, 58, 76, 78, 89, 94 105, 106, 120, 130, 133, 134, 135, 136 138, 140, 143, 146, 211, 212, 219  
 DOMANSKY, K 115, 207, 227  
 Doppelfernrohr mit Umkehrprismen am Autokartographen nach R HUGERSHOFF 91  
 Doppelkammer 65, 151, 164, 194, 195  
 — mit veränderlicher Basis 143  
 Doppelkammern, stereometrische 142  
 Doppelkassetten 130, 159  
 Doppelmikroskop, binokulares 55, 58, 94  
 — am Stereokomparator 57, 76  
 Doppelokular nach R HUGERSHOFF 57  
 Doppelprojektion 81, 140  
 — mit direkter Bildvereinigung 206  
 — mit subjektiver Bildvereinigung 206  
 — nach TH SCHEMPFLUG 78  
 — Verfahren der 80, 83, 140, 206  
 Doppelprojektionegeräte nach TH SCHEMPFLUG 19  
 Doppelprojektor 4, 80, 178, 179  
 — für Luftmeßbilder 79  
 — nach TH SCHEMPFLUG 60, 77  
 Doppelprotar (Objektiv) 109  
 Doppelpunkteinschaltung im Raum 180  
 Doppelverhältnis von vier Strahlen 12  
 Dosenlibelle 110  
 — Mitabbildung einer zum Zwecke der Orientierung 106  
 Drachen für Luftaufnahmen 148, 221  
 Drehkeile, optische, in stereoskopischen Okularen 58  
 Draiecknetz, allgemeines mit Anschlußpunkten 196  
 Dreifachkammern 150  
 Dreifachreihenbildner von E LABRELY 155, 156  
 DREXLER, F 235  
 DÜRER, A 2  
 Dunstschleier 117  
 „Durchreißen“ eines Verschlusses 114  
  
 Eagle Air Camera 106  
 EASTMAN Kodak Co 117, 120, 124  
 Echo Lotung 232  
 EGGERT, O 89, 172, 174, 205, 206, 209  
 EICHBLRG, FR 16  
 Einbild Photogrammetrie 34  
 Einfachreihenbildner 151, 155, 157  
 — nach R HUGERSHOFF 152, 153  
 — von CARL ZEISS 151  
 Einkammer Dreifachreihenbildner 157  
 Einkreisokkompaß nach N ANSCHUTZ 234  
 Einpassen von Bildpunkten 22, 23, 179, 193  
 Einpaßverfahren, optisch mechanisches 140  
 Einplatten Vierfachkammer 150  
 Einschneidemethoden 194  
 Einschnneiden, raumliches 195

- Einstellung von Bildpunkten im Stereo-  
 autographen 66  
 — von Flughöhenunterschieden am  
 Doppelprojektor 80  
 Einstellmarken eines Komparators 55  
 Einstellmikroskop 42  
 Einzelaufnahmen 217, 227  
 — Anzahl der notwendigen, zur Aus-  
 führung eines bestimmten Bildauf-  
 trages 227  
 Eisenbahnbauten, Aufnahmen für 7  
 Emulsion, harte 118  
 — weiche 118  
 Emulsionen, farbenempfindliche 118  
 Emulsionsträger 115, 213  
 — Krümmung des 207  
 Entfernung, relative Genauigkeit der 50  
 Entfernungsfehler, Ableitung eines 204  
 — beim Vorwärtseinschneiden 49  
 — Einfluß eines 203  
 Entwässerungsanlagen, Aufnahmen für 7  
 Entzerrung 17  
 — Maßhaltigkeit der 210  
 Entzerrungsgerät nach CL. ASCHEN-  
 BRENNER 19  
 — von C. ZEISS 20  
 Entzerrungsverfahren 18, 40, 150, 151,  
 155, 164, 200, 225  
 Erdinduktionskompaß 234  
 ERNEMANN, E 149  
 ERNEMANN-KOERNER-Lot 106  
 Ersatzbildebene 9  
 Erschütterungseinfluß bei Flugzeugen,  
 Kompensation des 231  
 EVERLING, E 231, 235  
 EWALD, E 7, 9, 221  
 Expeditionen, archäologische, Flieger-  
 aufnahmen bei 221  
 FAIRCHILD AERIAL Co 151  
 Farbenphotographie für Meßzwecke 119  
 Federbarometer 194, 231  
 Fehlbelichtungen, Verhinderung von,  
 Sicherungsanrichtungen zur 126  
 Fehler in der Horizontalrichtung, Einfluß  
 eines 203  
 — in der Vertikalrichtung, Einfluß eines  
 204  
 Fehlerfortpflanzungsgesetz 49  
 Fehlerzonen in einer Aufnahme 225  
 Feinkorrektion der Orientierungselemente  
 183  
 Fernorientierung 179  
 Feustellschraube als Meßschraube 139  
 Feldphotogrammeter mit horizontal  
 liegender Platte 134  
 Feldphotogrammeter von C. P. GOERZ  
 133  
 FERBER, R 60, 77, 81, 82, 83, 94  
 Fernkompaß 234  
 Fesselballon für artilleristische Auf-  
 nahmen 221  
 Fesselballone, unbemannte 221  
 Festlegung, kartographische, von Un-  
 tiefen 8  
 Festpunktdreieck 168, 169, 179, 183  
 Festpunktebene 168, 170  
 Festpunktprojektion 191  
 Festpunktpyramide 169, 171  
 — Rekonstruktion der 168  
 Festpunkte, Auswahl der, für Luftbild  
 aufnahmen 208  
 FEYER, E 12  
 Film, Transportsicherung des, nach C.  
 MÜLLER 125  
 Filmband als Emulsionsträger 115  
 Filmkammer, automatische, von CAR.  
 ZEISS 198  
 Filmkassette 144  
 Filmreihenbildner der FAIRCHILD  
 AERIAL Co 151  
 Filmtransport in Filmwechselkassette  
 121  
 Filmtransportvorrichtungen für Meß-  
 kamern 123  
 Filmwechselkassetten 121, 140, 240  
 Filter 117  
 — Planparallelität der 118  
 FINSTERWALDER, S 3, 5, 7, 9, 32, 91,  
 104, 106, 129, 130, 135, 168, 169, 171,  
 175, 178, 180, 181, 185, 194, 197,  
 207, 210  
 FISCHER, T 175  
 Flächenaufnahmen 217, 223, 227,  
 229  
 Fliegerkammern, Befestigung elastisch  
 von, am Flugzeugkörper 145  
 Fliegerplatte von O. PERUTZ 119  
 Fluchtpunktverfahren 165, 166  
 Flugbahn, Bestimmung photogrammetri-  
 sche, der 105  
 Flugbahnabstand 223  
 Flugbahnen, Einhaltung streng vorge-  
 schriebener 218  
 — parallele, automatische Einrichtun-  
 gen zur Einhaltung von 150  
 — parallele, von vorgeschriebenem Ab-  
 stand 228  
 Flugbereich 219  
 Flugdauer 219  
 Flughöhe 169, 179, 223, 229  
 — Wahl der 223  
 Flughöhen, relative 110, 228  
 Flughöhendifferenz 185  
 Flugplan, Entwurf des 229  
 Flugstützpunkte 222

- lugwegmesser 239  
 lugwegzeichner 239, 241  
 - nach HUGERSHOFF 231  
 lugzeuge (Typen) 217  
 lußlauf, Streckenaufnahme eines 228  
 lußregulierungen, photogrammetrische  
   Aufnahmen für 7  
 OCKE-WULF-Flugzeug 219  
 ÖRG, K 172, 174  
 Fokalkpunkt 197  
 olgebilder (Begriff) 85  
 ORMSTROHER, F 119  
 orschungereisen, Photogrammetrie auf  
   8, 221  
 orstwirtschaft, photogrammetrische  
   Aufnahmen für die 8  
 OURCADE, H G 2, 5, 77, 86  
 reiballon für Luftaufnahmen 148,  
   221  
 ROMME, A 135  
 ROHS, K 6, 66, 68, 89, 160, 172, 180,  
   184,  
 unkenbahn, Aufnahme einer 33  
  
 ALLUS (Paris) 81, 123  
 ASSEB, M 4, 60, 77, 80, 195  
 AST, P 98, 202  
 AUSS, C F 3  
 AUTIER-Gitter 109, 116  
 EBER, G de 3  
 eländeüberdeckung durch ein Schräg-  
   bildpaar 226  
 elatnefilter 118  
 elbfilter 118, 152, 153  
 EOLOGICAL SURVEY OF U S A  
 eschoßbahnen, Aufnahmen photo-  
   grammetrische von 104, 141  
 eschwindigkeitsmessung über Grund  
   236  
 epfelhöhe eines Flugzeuges 219  
 Hasplatten als Emulsionsträger 115  
 - planparallele 115  
 - — zur Kompensation der Verzeich-  
   nung eines Objektivs 108  
 Hetscheraufnahmen 8  
 Hnomen 181, 182  
 HOERZ C P AKT Ges 107, 109, 120,  
   121, 231  
 HOERZ PHOTOCHEMISCHE WERKE 213  
 ROSSNITZ, Fr v 7  
 HOLDBERG, E 117, 118  
 Ionometer 108  
 IORLT, P 7  
 iradationskurve der Emulsion 118  
 IRAF, R 203  
 IRIPFTHUS, J C 217  
 iruben im Tagbau, Vermessung photo-  
   grammetrische von 7  
 GRUBER, O v 5, 6, 7, 8, 20, 21, 22, 38,  
   73, 83, 94, 97, 98, 162, 171, 174, 175,  
   176, 178, 179, 180, 182, 184, 193,  
   196, 197, 199, 201, 212  
 Grundbuchvermessung, photogrammetri-  
   sche Aufnahmen für die 7  
 Grundgeschwindigkeit des Flugzeuges 224  
 Grundgeschwindigkeitsmesser 230  
 — nach R. HUGERSHOFF 230, 238, 239  
 Grundkarte, topographische 7  
 Grundwegmesser 230  
 GRUNER, H 98, 106, 224  
 GÜNTHER, L 8  
 GÜNTHER, O 137  
 GÜTLER, K 7, 8, 24  
  
 HAEPPFER, A 44, 72  
 HARRY, H 72, 75  
 HAMMER, E 44  
 HAMMER, W O 112  
 Handmeßkammer C/4 von C ZEISS 145  
 — nach R. HUGERSHOFF 145  
 — ZEISSsche 151  
 HANSA-LUFTBILD G m B H 213, 223  
 HAQUINIUS, E 98  
 HAUCK, G 3, 5, 39  
 HAUCKEScher Satz 3  
 „Haufenmethode“ der paarweisen Bild  
   orientierung 181  
 Haupthorizontale 9, 53, 104  
 Hauptpunkt der Rahmenebene 104  
 Hauptpunkteinstellung am Stereokom-  
   parator 57  
 Hauptpunktlage, exakte Bestimmung  
   der 162  
 Hauptpunkttriangulation 196  
 Hauptpunktverlagerung 207  
 Hauptvertikale 9, 164  
 HAY, A 51, 52  
 HEINDL, P 17  
 HEINKEL-Flugzeug 219  
 Helligkeitsumfang eines Objekts 117  
 HELMHOLTZ, H v 51  
 HEUN, K 49  
 HRYDE, G, G m B H 5, 21, 43, 45, 84,  
   86, 98, 126, 134, 138, 146, 147, 150,  
   153, 198, 230, 239, 241  
 HILDEBRANDSSON, H 3  
 Himmelsgewölbe, Aufnahmen des 34  
 Hochgebirgsaufnahmen, photogramme-  
   trische 115  
 Höhe, Genauigkeit der, in der terrestri-  
   schen Stereophotogrammetrie 211  
 Höhenbrücke am Autokartographen 93  
 Höhendarstellung 81  
 Höhenfehler mittl an punktweise stereo  
   photogrammetrisch gewonnenen Kar-  
   ten 211

- Höhenfehler mittl bei der stereophotogrammetrischen Kartierung 212  
 — — im Autokartographen 213  
 — — im Stereoplanigraphen 213  
 — — im Wildschen Autographen 213  
 Höhenlineal des Stereoautographen 67  
 Höhenmessung (Flughöhe) 231  
 — barometrische 105  
 Höhenunterschiede der Aufnahmestandpunkte 37, 62, 65, 66, 92  
 HOERNES, H 149  
 HOFE, CHR. v 60, 92, 102, 163  
 HOHENNER, H 141  
 HOLST, L J R 77  
 Horizontallineale, knickbare am Autographen 89  
 Horizontalparallaxe 56, 58  
 HOENOCHE, A 172  
 HOTINE, M 38, 195, 197  
 HÜBL, A v 4, 5, 39, 57, 206, 207, 208, 210  
 HUGHES H & SON, LTD 230  
 HUGERSHOFF, R 4, 5, 6, 21, 26, 34, 35, 43, 44, 45, 46, 50, 59, 71, 83, 84, 86, 92, 98, 100, 104, 106, 108, 114, 115, 123, 126, 134, 140, 147, 150, 153, 157, 158, 160, 163, 168, 171, 172, 178, 174, 175, 178, 183, 195, 201, 206, 210, 212, 214, 216, 230, 231, 237, 238, 239, 240  
 Hydrochinon-Entwickler 119  
 Identifizierung von Punkten bei der Flugbahnorientierung 229  
 Identifizierungsfehler 50, 206, 207, 209, 211  
 Integrator (Entzerrungsgerät nach JANTZER) 23  
 INTERNATIONALE GESELLSCHAFT ZUR ERSCHESSUNG DER ARETIS MIT LUFTFAHRZEUGEN 221  
 Interpolationsverfahren bei der terrestrischen Topographie 7  
 Inversoren 21  
 IVES, H E 117  
 JAFFÉ, A 119  
 JANTZER, E 23  
 JONES, B M 217, 228  
 JONES, E L 217  
 JORDAN, W 2, 205, 206, 209  
 JUNKERS Luftbildzentrale 202, 223  
 JUNKERS W 33 Flugzeug 153, 210  
 Kammer, automatische 151  
 KAMMERER, G 18, 76, 140, 210  
 Kammerhauptpunkt 153, 157, 158, 160  
 — photographische Bestimmung des 150  
 Kammern, Anbringung der, an den Enden des Tragdecks 194  
 — — der, im Heck und Bug eines Luftschiffes 194  
 — mit neigbarer Bildebene 104, 136  
 — mit nicht neigbarer Bildebene 126  
 Kammerobjektive, Verzeichnungsfehler von 191  
 Kammerprüfungstheodolit nach R HUGERSHOFF 109, 163  
 Kammerträger 217  
 Kanalanlagen, Aufnahmen für 7  
 Kantenberechnungsverfahren zur Ermittlung der Standortskordinaten 172  
 Kantung, Ermittlung der, einer Aufnahme 173  
 Karton, topographische 6, 217  
 Kartenergänzung mit Hilfe des photographischen Verfahrens 7  
 Kartenhorizont 40  
 Kartenkontrolle mit Hilfe des photographischen Verfahrens 7  
 Kartenmaßstab 111  
 Kartennetz, Vergrößerungszahl eines 17  
 Kartenprofile 211  
 Kartenprojektion 40, 54  
 Karten, topographische 6  
 Kartierung mit dem Stereoautographen Maßstab der 68  
 Kartierung, maschinelle 7  
 — Zimmerarbeit bei der automatischen 6  
 Kartierungen, kolonialtopographische 6  
 Kartierungsfehler 23  
 Kartierungsgerät, FERNERsches, optisches, Zusatzsystem zum 82  
 Kartierungsgeräte, mechanische 179  
 — stereoskopische 185  
 Kartierungsmaschine nach PORVILLIERE 86  
 Kassetten für Meßkammern 103, 159  
 Kassettenrahmen 103  
 Katasteraufnahme 7  
 KATZMAYR, R 8  
 KELL, N G 167  
 Kernachse 181  
 Kernebenen 39, 58, 75, 181, 184  
 Kernebenenbüschel 180  
 Kernpunkt, gnomonischer 182  
 Kernpunkte 181  
 — gegnerische 39  
 Kernpunktverfahren 180, 194  
 Kernstrahlen 39  
 Kino Phototheodolit 135  
 Kippregel 36  
 Kippungsdifferenz 185, 187  
 KLINGATSON, A 100, 102, 172, 194  
 Kleinkörper, Aufnahme von 28

- Knickung der Lineale beim Stereoauto-  
graphen 66  
KÖRBER 167  
KÖRNER, O 38, 64, 85, 107  
Körpermessungen an lebenden Wesen 8  
KOHLSCHÜTTER, E 8, 167  
Koinzidenz, Methode der optischen (nach  
TH SCHUMPFUG) 149, 178, 179,  
183, 193  
Kollodionplatten, nasse 3  
Kommandoapparat, pneumatischer in  
Flugzeugen 218  
Kompaß 233  
Kompaßkurs 229  
Kontaktdiapositive, Ausmessung von 115  
Kontrollpunkte für eine photogram-  
metrische Rekonstruktion 211, 215  
Konvergenzwinkel 55, 56  
Koordinatenberechnungsverfahren 172  
Koordinatenfehler, mittlerer 210  
— als Funktion der Fehler der bestim-  
menden Richtungen 203  
— — — der Punktlage 203  
Koordinatenmessung, graphische an Bild-  
kopien 206  
Koordinatennetz, Aufkopieren eines auf  
eine Aufnahme 216  
Koordinatograph an einem automati-  
schen Kartierungsgerät 70, 74, 91,  
95, 102, 223  
KOPPE, C 3, 35, 41, 45, 47, 54, 108, 115,  
136, 138, 210, 231, 233  
Koppelkammer 23, 198  
Koppelreihe 151, 195, 199, 200  
Koppelreihen mit Triangulation 200  
KOPPMAYER, J 196, 197  
Korngröße einer Emulsion 119  
KORZEB, K 67, 211  
KRÄMER, E R 195  
Krater, Aufnahmen photogramm von 8  
KRAUS, H 208  
KRAUSE, K 9  
KREBS, H 89  
Kreisel mit elektrischem Antrieb 235  
— zur Herstellung eines künstlichen  
Horizonts 106  
Kreiselkompaß 234  
Kreiselorientierung 193  
KRITZINGER, H H 212  
KRUPPA, E 184  
KRUTZSCH, H 8, 106, 194  
Küstenkammer nach R. HUGERSHOFF  
146, 147, 148  
Küstenvermessungskammer 106  
Kulissenwirkung in einem stereoskopi-  
schen Bild 52  
Kurz- und Geschwindigkeitssucher 230  
KUTTA, W 168  
LAAS, W 9  
LABRELY, E 112, 113, 155, 156  
LACMANN, O 8, 113, 117, 143, 193, 224,  
227  
Lagefehler, mittl. an punktweise stereo-  
photogrammetrisch gewonnenen Kar-  
ten 211  
— — im Autokartographen 213  
— — im Stereoplanigraphen 213  
— — im WILDSCHEN Autographen 213  
Längsneigungs- (Verschwanungs) Fehler  
der Folgebilder 202  
Längsneigungs- (Verschwanungs) Kor-  
rektur 190  
Längs- oder Hauptneigung (Verschwen-  
kungsdifferenz) 185  
Längsüberdeckung von Fliegeraufnah-  
men (Folgebildern) 225, 231  
Lagefehler, mittl. an punktweise stereo-  
photogrammetrisch gewonnenen Kar-  
ten 211  
— — eines Punktes im Autokartogra-  
phen 213  
— — eines Punktes im Stereoplan-  
graphen 213  
— — eines Punktes im WILDSCHEN Auto-  
graphen 213  
Lageplan 24  
LAMBERT, J H 1  
Lamellenverschluß eines Objektivs 112,  
113  
LANGHOFF, H 155  
LAUSSEDAT, A 2  
LEHMANN, H 122  
LEIBER, F 117, 118  
Lenkluftschiff 219  
LENOUVEL, M L 122, 123  
Labellen zum Horizontieren 107  
— zur Herstellung eines künstlichen  
Horizonts 106  
Labellenabbildung zu Orientierungs-  
zwecken 193  
LIBITZKY, E 172, 174  
Lichtebeinen nach ZAAR 28, 29  
Lichtebeinenmethode, für medizinische  
Zwecke 30  
Lichthofbildung in einer lichtempfind-  
lichen Schicht 119  
LIEBENAU, E 8  
LIESEGANG, ED 20  
Lineoplast (Objektiv, phot.) 141  
LORKE, N 7, 228  
LOSCHNER, H 32, 127, 217  
LUDENDORFF, H 115  
LUDOLF W AKT Ges 234  
LUDOVICI, W 121  
LÜSCHER, H 7, 8, 52, 65, 108, 208,  
223

- Luftaufnahmen mit nahezu senkrechten  
   Aufnahmeschsen 79  
 — senkrechte 110  
 Luftbildaufnahme, Technik der 217  
 Luftbildkarte, Gestehungskosten der end-  
   gültigen 227  
 Luftbildkarten 216  
 Luftbildmeßkammern 107  
 Luftbildmessung 1, 6, 20  
 — stereoskopische, Genauigkeit der 212  
 Luftbildpläne 217  
 Luftbildskizzen 216, 217  
 Luftbild-Triangulator 82  
 Luftbildwesen (Definition) 217  
 Luftlicht 117  
 Luftlichtschleier 117  
 Luftlogg 230  
 Luftlot nach A. BREHM 233  
 Luftmeßbilder 213  
 Luftphotogrammetrie, wirtschaftliche  
   Bedeutung der 194  
 — Wirtschaftlichkeit der 213  
 LUMMER, A. u. L. 119  
 LUYMES, N. 195  
  
 Magnetkompaß 233, 241  
 MAILLET (Paris) 136  
 MANEK, FR. 175, 223  
 MANZI, M. 3  
 MARCHAND, H. 175  
 Marke, wandernde 60  
 Markenrahmen 160  
 Markenverbindungen in einer Meß-  
   kammer, Justierung bzw. Prüfung  
   von deren Lage 163  
 Maßhaltigkeit von Entzerrungen 216  
 Maßstabfehler einer Aufnahmereihe 215  
 MATTINGKA, H. 142  
 Mattscheiben Spiegelsucher 148  
 Mattscheibensucher 145, 154  
 Mattscheibenüberdeckungsregler 152  
 MAUL, N. 221  
 MAUVE, E. 229  
 Median, Aufnahmen photogrammetri-  
   sche für die Zwecke der 142  
 Meeresarme, Überbrückung von, mit  
   Aufnahmen 195  
 Mehrfachkammern 147, 148, 154, 164, 198  
 — mit Handbetätigung 148  
 Mehrfachreihenbildner 165  
 MEISSNER, W. 231  
 MELDAU, H. 234  
 Meßbildanstalt, preussische 2  
 Meßbilder 1  
 MEISSNER, K. 164  
 MEISSERSCHMITT-Flugzeug 219  
 Meß-Flieger-Objektiv nach H. WILD (Spe-  
   zialobjektiv für Meßbildkammern) 146  
 Meßgeräte, stereoskopische (Allgemeines  
   53  
 Meßgatter 134  
 Meßkammer 1, 103  
 — nach R. HUGERSHOFF 143  
 — nach H. WILD 146  
 — von CARL ZEISS 146  
 Meßkammerkonstanten und ihre Be-  
   stimmung 157  
 Meßkammern, Formate der 109  
 — für bewegliche Aufstellung 143  
 — für feste Aufstellung 126  
 — für terrestrische Aufnahmen 104  
 MESSTER, O. 151  
 Meßtisch 36  
 — photographischer, nach A. CHEVALIERE  
   134  
 Meßtischphotogrammetrie 25, 35, 195  
   206, 207, 212  
 Messungsfehler, systematische 115  
 Meßverfahren, stereoskopisches 52  
 Method of Intersection 38  
 MEYDENBAUER, A. 2, 12  
 METZKE, A. 117, 118, 119  
 Mikroskop Komparator nach R. HUGERS-  
   HOFF 42  
 Mißweisung 241  
 Mittelpunkt, optischer, des photographi-  
   schen Objektivs 10  
 Modell, optisches 54  
 Modellaufnahmen von Maschinen usw.,  
   photogrammetrische 8  
 MOEBIUS-Netz 13  
 MOISSARD, M. 136, 154  
 MOFFIT, FR. H. 217  
 MÜLLER, C. H. F. ART. Ges. 62  
 MÜLLER, F. I. 172, 173  
 MÜLLER, G. 122, 126, 147  
  
 Nachthimmel, Zeitaufnahme des 34  
 Nadirdistanz der Aufnahmerichtung 197  
 — eines Bildpunktes 23, 170  
 Nadirpunkt 166  
 — eines Luftmeßbildes 37, 40  
 — Ermittlung des, einer Aufnahme 106  
 Nadirpunktbilder, gegenseitige 38  
 Nadirpunkttriangulation 4, 38, 195, 196, 216  
 Näherungsorientierung einer Aufnahme  
   mit Hilfe eines Bildmeßtheodolits 167  
 Navigraph von LE PRIEUR 230  
 Neigung, Ermittlung der, einer Auf-  
   nahme 173, 179  
 Netz, perspektivisches 15  
 Netzverdichtung 195  
 Netzverfahren 13, 17, 93  
 NEUBUEGER 121  
 NIEFON, J. N. 2  
 NISTRI, A. 60, 77, 81, 121, 212

- Nivellement, barometrisches 202
- geometrisches 202
- Nomenkomparator nach R. HUGERS-HOFF 41
- Nordlichter, Messungen an 8
- Normalbelichtungsgebiet der Gradationskurve 118
- Normalfall der Stereophotogrammetrie 39, 47, 54
- Normalreihe 151, 195, 200
- Normalstereogramm 51, 54, 61, 72, 80, 128, 133, 141
- Normalstereogramm, terrestrisches 62
- Notlandeplätze für Flugzeuge 222
- Nowatzky, F. 157, 159, 211
- Nummern (Buchstaben-) Scheiben an Photogrammetern 131
- BERGLÄNDER, L. 108
- Objektivbrennweite 109, 110
- Objektive für Meßkamern 107
- Objektivöffnung 108
- Objektpunkte, Belichtung der 207
  - Form der 207
  - Hintergrund der 207
- Objektpunktfehler, Ableitung der, aus überschüssigen Messungen 210
  - — — aus Vergleichsmessungen 210
  - Theorie der 203
- Objektpunktkoordinaten, Berechnung der, unmittelbar aus den Bildpunkt koordinaten 47
- Objektumfang 118, 119
- ODENCRANTZ, A. v. 26
- Öffnungswinkel, direkte Bestimmung des, nach Prüfaufnahmen 162
  - einer Meßkammer 157, 158
  - direkte Bestimmung des, nach Messungen an der Kammer 162
  - — — nach Prüfaufnahmen 162
- REL, E. v. 5, 7, 65, 67
- Organisation der photogrammetrischen Aufnahme 222
- Orientierung, absolute, eines Bildpaares 180, 181
  - äußere, eines Meßbildes 9
  - äußere, photogrammetrischer Aufnahmen 104
  - azimutale, einer Aufnahme 166, 174
  - — zweier Senkrechtaufnahmen 186
  - eines Bildpaares, optisch mechanische 185
  - eines Photogrammeters nach dem magnetischen Meridian 105, 128
  - einzelner Bildpaare 189
  - innere 9, 12, 157, 164
  - — der Bilder und Kammerkonstanten, Beziehung zwischen 157
  - Orientierung, innere der Kammer 12
  - — einer Aufnahme 9
  - — einer Kammer, Konstanten der 158
  - optisch mechanische, in Auswertegeräten 178
  - photogrammetrischer Aufnahmen zum Lot und Meridian 194
  - relative von Bildpaaren 180, 181
  - — azimutale 189
  - — zweier Aufnahmen 184
  - von Bildgruppen 193
  - von Einzelaufnahmen 164
  - während des Fluges 228
- Orientierungsaufsatz zum Zeisschen Photogrammeter 131
- Orientierungselemente, äußere 105
  - — einer Aufnahme 166
  - — mittelbare Bestimmung der 164
- Orientierungsfehler 206, 207
- Orientierungsverfahren, rechnerisches 179
- Ort, gefährlicher 182
- Orthochromasie 119
- Orthoprotar (phot. Objektiv) 130, 131
- Ortsbestimmung, geographische 8
- OTTICO MECCANICA ITALIANA (NISTRI) 151
- PAGANINI, P. 3, 129, 130
- Panoramaaufnahmen 149
- Panoramakammer nach CL. ASCHENBRENNER 150
  - nach J. W. BAGLEY 135, 136
  - nach A. PELLETAN 136
  - THIELESche 149
- Panorama-Reihenbildkammer 154
- Panoramascheibe am Photogrammeter nach E. DOLEŽAL 130
- PANTOFLEČEK, J. 142
- Pantograph 64
- Papierabzüge, Messungen an 200
- Parallaxe, Kurven gleicher 55
  - totale 58, 188, 189
- Parallaxeverfahren zur Bildpaarorientierung 184
- Parallelogramm, FUCHSsches 68
  - von BAUERSFELD-PREIFFER 68
- Parallelrichtung der Kameraachsen 107
- PELLETAN, A. 136
- PENDLETON, T. P. 150
- Periskop, binokulares 89
- Perspektive, Gesetze der 1
- Perspektivbedingungen 21
- Perspektograph 4, 77
  - RITTERscher 27, 28
- PREIFFER, FR. 175
- Photo Alhidada 136
- Photogrammeter (Definition) 104, 105, 126



- Photogrammometer für Rollfilm nach R PROHASKA 135  
 — mit Meßgitter nach FR EICHBERG 134  
 — nach BRIDGES-LEE 128  
 — nach E DOLEŽAL 130  
 — nach S FINSTERWALDER 129  
 — nach R HUGERSHOFF 127  
 — von C ZEISS 131  
 — stationäre, von C P GOERZ, A G 133  
 — — von CARL ZEISS 132  
 Photogrammetrie (Begriff) 1, 35  
 — ballistische 8, 141  
 — terrestrische 1, 6, 16, 120  
 — topographische 181  
 PHOTOGRAMMETRIE G M B H 21, 70, 71, 111, 212, 223  
 Photokartograph 4, 81  
 Photoperspektograph 20  
 Phototheodolit 3, 104, 105, 137  
 — für ballistische Aufgaben 141  
 — nach H HOFENNER 141  
 — nach R HUGERSHOFF 138, 139  
 — nach C KOPPE 137  
 — nach H WILD 140  
 — von BREITHAUPT & SOHN 138  
 Pilotballone 105  
 PIONEER INSTRUMENT Co 230, 234  
 PIZZIGHELLI 2  
 Planglasplatte als Anpreßfläche für Filme 104, 125  
 Planlegung des Films durch Ansaugen 124  
 — des Films durch Staudruck 125, 152  
 — des Films in der Filmwechsellkassette 124  
 — mechanische, des Films 126  
 — pneumatische, des Films 126, 140  
 Plastik, spezifische 51  
 — totale 52  
 Platten, orthochromatische 117  
 Plattenkorn 56  
 Plattenreihenbildner 121, 155  
 — der WILLIAMSON MANUFACTURING Co 151  
 — nach NISTRI 121  
 Plattenwechsellkassette, Konstruktions schema 120  
 Plattenwechsellkassetten 120  
 — nach LUDOVICI 121  
 POIVILLIER 86  
 POLLACK, V 4, 138  
 Polygonzugsmessung 105  
 PORRO KOPFESche Methode zur Auswertung von Meßbildern 44  
 PRÉDHUMEAU, J 61, 64, 83, 111  
 Prisma, Dovesches 60, 102  
 — WOLLASTONSches 2  
 PRITSCHOW, K 111, 112  
 Profilzeichnung mit Hilfe des Doppel projektors 78  
 PROHASKA, R 135  
 Projektion, gnomonische 34, 180, 181, 182  
 Projektionsebene, gnomonische 184  
 Propelleruntersuchungen nach der Lichtebenenmethode 30  
 PUJO 2  
 PULFRICH, C 5, 33, 52, 53, 56, 65, 57, 61, 63, 76, 80, 132, 142  
 Punktfestlegung durch Richtungen 13  
 Punktidentifizierung 52  
 Punktübertragung durch Vorwärtseinschneiden 13  
 Pyramidenverfahren zur mittelbaren Bestimmung der äußeren Orientierungselemente einer Aufnahme 168  
 Quadratnetz als Bezugsnetz 14  
 Querneigung (Kippungsdifferenz) 185  
 Radial Method 38  
 Radialtriangulator von CARL ZEISS 107  
 RAETHJEN, P 105  
 Räume, festpunktlose, Überbrückung von mit Aufnahmen 194  
 — „tote“ 150  
 Rahmenebene einer Meßkammer 157  
 Raketenapparat nach N MAUL 221  
 RANDHAGEN 137  
 RANZA, A 221  
 Raumbildmethoden 195  
 Raumlenker des Autokartographen 99  
 — nach I PORRO 72  
 Raummarke 51, 52, 81, 82  
 — DEVILLASche 63  
 — des WILDSchen Autographen 74  
 Raummodell 51  
 — virtuelles 83  
 Raumpunkt, Tiefe eines 52  
 Rautenkette 196  
 Reihenaufnahmen aus Flugzeugen 154  
 Reihenbildaufnahme 38, 110  
 Reihenbildkammern 111  
 Reihenbildner 23, 85, 110, 113, 121, 124, 151, 218, 224  
 Rekonstruktion auf Grund perspektiver Beziehungen mit Hilfe von Lichtebenen 28  
 — des Objektes aus einer Aufnahme 9  
 — des optischen Modells 54  
 — einer Richtung mit Hilfe der Bildpunktkoordinaten 26  
 — eines Objektes nach Grund- und Aufbau 10  
 — durch Vermittlung der Bildpunktkoordinaten 24

- Rekonstruktion flächenweise, auf Grund perspektiver Beziehungen 17  
 — kontinuierlich-automatische, des Objektes aus einem Bilderpaar 60  
 — linienweise, auf Grund perspektiver Beziehungen 9  
 — photogrammetrische, Genauigkeit der 210  
 — punktweise, auf Grund perspektiver Beziehungen 12  
 — — eines beliebigen Objektes aus einem Bildpaar 35  
 — unter Vermittlung der Bildpunktkoordinaten mit Benutzung von Hilfsbasen 30  
 Rektaszension eines Sterns im photographischen Bild 35  
 Relativbewegung einzelner Objektpunkte gegeneinander während des Standpunktwechsels 207  
 — von Kammer und Objekt während der Dauer der Verschlussöffnung 207  
 Relativorientierung zweier Aufnahmen, optische 199  
 Restitutor nach N SANTONI 85  
 Rhombenprismen nach C PULFRICH 63  
 RICHTER, A P F 62  
 Richtungsdivergenz, unmittelbare Messung der 209  
 Richtungsfehler, Komponenten  $\Delta\alpha$  und  $\Delta\tau$  der 206  
 Richtungsmessungen, Genauigkeit der 163  
 Richtungsverfahren der paarweisen Bildorientierung 182  
 Richtungsweisung und Abtriftbestimmung 233  
 RIEBSCH, P 9  
 RIESNER, H 180  
 RITTER, H 27, 28  
 Röntgenstereogramme 8, 62  
 RÖRIG M v 2, 52, 108  
 ROST, R & A 130  
 ROUSSELE, M H 20, 40  
 Rückwärtseinschneiden, ebenes 160  
 — einfaches räumliches 166, 175  
 — mit orientierten Richtungen 68 nach Richtungen 174, 179, 182  
 — räumliches, rechnerisches mit Winkeln 171  
 — — — nach Richtungen 174  
 RUMPF, H 141  
 RÜNGE, O 35  
 RONEY, J TH 106, 195, 222  
 RYMER, P 46, 71, 175  
 RYDIN, H v 180, 184  
 RYDER, W 70, 71  
 SANTONI, E 85, 107  
 SARNETZKY, H 139  
 SCHAFFERNAK, F 30  
 SCHECK, F 207, 210  
 SCHEFFER, W 51  
 SCHEIMPFLUG, TH 4, 18, 20, 88, 61, 76, 77, 78, 79, 80, 148, 149, 150, 178, 195, 221,  
 SCHEIMPFLUG-Bedingung 21  
 SCHEIMPFLUGsche Doppelprojektion 79, 98  
 — Doppelprojektor 94, 97, 184  
 SCHEIMPFLUGsches Verfahren 81, 84, 198  
 SCHILL, A 129, 138  
 SCHIFFERLE, W 172, 175  
 Schichtendarstellung, Genauigkeit der 211  
 Schichtenplan 6, 149  
 Schichtenzeichnung, automatische in Kartierungsgeräten 209  
 Schichtlinienkarte 76  
 Schichtverziehungen auf Glasplatten 207  
 SCHIFFNER, FR 3, 40, 106, 129, 136  
 SCHILLING, F 12, 20  
 Schleierbildung 119  
 Schlitzverschlüsse 111  
 Schlitzverschlusskammern 161  
 SCHLOZER, A 175, 177, 216  
 SCHMIDT, CHR 180, 182  
 Schmiegunetz 116  
 SCHNEIDER, F 131, 161  
 SCHNEIDER, Jos & Co 108, 109  
 SCHNEIDER, K 115, 146, 207, 211, 212, 213, 216  
 SCHÖBER, M 7  
 SCHOLLMAYER, N 175  
 Schrägaufnahmen 37, 40, 150, 174, 179, 193, 195, 207, 212, 213, 218, 226  
 — punktweise Auswertung von 212  
 — transformierte 195  
 Schrägbildpaare, Anreihung von 226  
 Schwingungen und Deformationen von Bauwerken, Messung von 8  
 Schraubenmikroskope 138  
 SCHREIBER, E 233  
 Schrumpfung, perspektiv deformierende einer Schicht 116  
 — unregelmäßige der Emulsionsschicht 116  
 Schrumpfungen des Aufnahmematerials 115, 116, 117, 191, 207  
 SCHULZE, FR 172, 173  
 SCHUMACHER, A 143  
 SCHWARZCHILD, K 34  
 SEIDEL, FR 6, 7, 98, 213, 214, 215, 228  
 Sektorenverschlus 112  
 Selbstfokussierung eines Entzerrungsgeräts 21

- SELIGER, P 5, 109  
 SELKE, W 143  
 Senkrechtaufnahmen 37, 101, 102, 110, 145, 146, 174, 179, 182, 184, 193, 195, 203, 207, 213, 223, 225  
 SEYEWETZ, A 119  
 SHUSTER, E A 98  
 SIGEL, W 121  
 SLAWIK, K 7, 8, 111, 217, 227  
 SNIZEK, E 89  
 Sonnenaufnahme zur Orientierung einer Aufnahme 106  
 Sonnenkompaß, BOYKOWSCHER 107  
 Spanneinrichtung für den Verschluss an den Meßkammern nach HUGERSHOFF 114  
 Spannverschlüsse 111  
 Spiegelbildphotogrammetrie 32  
 Spiegelglasplatten 115, 213  
 Spiegelprismen 63  
 Spiegelstereoskop 51, 64, 85  
 — WHEATSTONE'SCHES 61  
 SPIEWECK, B 31, 135  
 Spitzenwinkel beim stereoskopischen Vorwärtsschneiden 55  
 SPRUNG, A W 49, 134  
 Stadterweiterungspläne, Aufnahmen für 7  
 STABBLE, F 108, 141  
 Standentwicklung 119  
 Standmeßkammer nach R HUGERSHOFF 144  
 — nach R HUGERSHOFF, Auflängevorrichtung für Schrägaufnahmen 144  
 Standort, Ermittlung des, einer Kamera 169  
 Standortskordinaten 173, 181  
 — Ermittlung der 167, 172  
 — Konstruktion der, bei geneigter Festpunktebene 170  
 „Standpunkte“ einer photogrammetrischen Station 36  
 Start- und Landungsmaßnahmen von Flugzeugen auf Grund photogrammetrischer Aufnahmen 135  
 Statoskop 232  
 Staudruckmesser 235  
 Steighöhe eines Flugzeugs 219  
 Steilaufnahmen 101, 102, 179, 184, 203  
 Steilküsten, Aufnahme von 7  
 Steinbrüche, Aufnahme von 7  
 STEINER, FR 3, 8, 9, 12, 136  
 Stereoaufograph, Genauigkeit des 211  
 — nach E v ORIEL 5, 60, 65, 69, 70, 74, 84, 88, 90, 97, 101, 108, 149, 212  
 Stereodoppelprojektor nach R HUGERSHOFF 83  
 Stereoeffekt, Umkehrung des 102, 103 201  
 Stereokomparator 5, 51, 55, 56, 60, 61 66, 108, 116  
 — nach R HUGERSHOFF 59  
 — nach C PULFRICH  
 — zur Stereometerkammer von CAR ZEISS 143  
 Stereometer (Spezialkomparator für Nahaufnahmen) 57  
 Stereometerkammer nach R HUGERSHOFF 143  
 — nach J PANTOFLEČEK 142  
 — von CARL ZEISS 142  
 Stereomikrometer 53, 56  
 Stereoorthodiagraph 63  
 Stereophotogrammetrie 49  
 — Normalfall der 39  
 — terrestrische 211  
 Stereoplanograph nach W BAUERSTEL 4, 60, 94, 95, 96, 97, 98, 184, 201 212, 213  
 — nach E DEVILLE 60, 61  
 Stereoskop, HELMHOLTZ'SCHES 83  
 Stereotopometer nach J PRÉDHUMEAU 60, 64, 65  
 Sternaufnahmen 34, 35, 217  
 Sternbilder, Aufnahmen von 34  
 Sternhimmel, Aufnahme des, nach SCHEINOFFLUG 104, 164  
 Sternspuren, Aufnahme von 34  
 STÖRMER, K 8  
 STOLZE, F 4, 51, 53  
 STOLZESCHES Verfahren mit Anwendung einer Meßmarke 53  
 Stoppuhr zur Bestimmung der Grundgeschwindigkeit 231  
 Strahlenbrechung, Büscheldeformation infolge der 207  
 Straßenbauten, photogrammetrische Aufnahmen zur Projektierung von 7  
 Streifenaufnahme mittels einfachen Reihenbildners 185  
 Streifenaufnahmen 217, 227, 230  
 Strömungserscheinungen, räumliche, Aufnahme von 8  
 Studien, schiffsbautechnische 143  
 Stundenkreis 35  
 SÜRING, R 134, 217, 221  
 Tachymetertheodolit 127, 128  
 Talsperrenprojekte, Aufnahmen für 7  
 Tankentwicklung 119, 120  
 TARDIVO, C 4  
 Tatbestandsaufnahmen, kriminalistisch 8, 16, 143  
 TAYLOR 172  
 Teilparallaxen 188  
 Temperatureinfluß und Meßkammerkonstanten 159

- Tessar 108, 109, 127, 139, 142, 143, 144, 147, 153  
 THIELE, R. 4, 15, 126, 136, 149, 194, 221  
 THOMPSON, V. 5  
 „Tiefe“ eines Raumpunktes 52  
 Tiefenunterscheidungsvermögen 52  
 Tiefenunterschiede, Wahrnehmung von 55  
 Tiefenwahrnehmung, Genauigkeit der 55  
 TISSANDIER, N. 148  
 Topo Platte 119  
 Topographie, technische 8  
 — terrestrische 7  
 TORROJA, J. M. 2, 40, 98  
 TOURNACHON, G. F. genannt NADAR 2  
 TREITSCHKE, C. 212  
 TRENDLENBURG, W. 61, 62, 63  
 TRIBOULET 148  
 Trikolograph 39  
 Triplex-Reihenbildner nach R. HUGERHOF 156  
 TRUCK, S. 7  
 TSCHAMLER, H. 8, 221
- Überbelichtungsgebiet der Gradationskurve 118  
 Überdeckung von Flächenaufnahmen 217  
 — von Fliegeraufnahmen 224  
 Überdeckungsregelung bei Luftbildaufnahmen 236  
 — optische 237  
 — von Luftbildaufnahmen in der Flugrichtung 237  
 Überdeckungsregler 145, 151, 152, 154  
 Übersichtsaufnahmen 150  
 Übertragungsfehler 208  
 Uferschutzbauten, Aufnahmen für 7  
 Uhrkorrektur bei Himmelsaufnahmen 35  
 Unbildkammer nach ERNEMANN 149  
 Umbildung, photographische 17  
 — photographischer Bilder auf photographischem Wege 77  
 — schräg aufgenommener Architektur-  
 aufnahmen 17  
 Umkehrprisma 60, 92  
 Umkehrverfahren, SCHWIMMERLUGSches 76  
 Unebenheiten des Geländes, Einfluß von 22  
 UNGEWITTER, M. J. 217, 228  
 Universal Auswertegeräte 74, 148  
 Unterbelichtungsgebiet der Gradationskurve 118  
 Untufen kartographische Festlegung von 8
- Variometer 232  
 VENTURI Röhre 218  
 Verdrehung, azimutale (Verkantungs-  
 differenz) 185  
 Verfahren, photogrammetrische, Ver-  
 wendung im Kriege 9  
 Verkantung der Kammer 42, 179  
 — einer Aufnahme 159, 207  
 Verkantungsdifferenz (azimutale Ver-  
 drehung) 185  
 Verkantungsfehler 186  
 Vermessungsfilm 119  
 Verschlüsse der Meßbildkammern 111  
 Verschlüßauslösung, synchrone elektri-  
 sche 139  
 Verschmelzungsbild, virtuelles 83  
 Verschwenkung 48, 54, 55, 69, 207  
 Verschwenkungsdifferenz 185  
 Verschwenkungsfehler 188, 202  
 Verschwenkungskorrektur 190  
 Vertikalparallaxe als Funktion einer  
 Flughöhendifferenz  $\Delta b$ , 186  
 — als Funktion einer Kippungsdifferenz  
 $\Delta \nu$  186  
 — als Funktion einer Verkantungs-  
 differenz  $\Delta \kappa$  186  
 — als Funktion einer Verlagerung des  
 Standpunktes gegen die Grundebene  
 $\Delta b$ , 188  
 — als Funktion einer Verschwenkungs-  
 differenz  $\Delta \varphi$  187  
 Vertikalparallaxen 59, 68, 92, 183, 184,  
 185, 190, 201  
 Verfahren photogrammetrische, Ver-  
 wendung im Kriege 9  
 Verzeichnungsfehler eines Objektivs 3, 9,  
 108, 115, 159, 207  
 Verzeichnungsfehlerdifferenzen 207  
 Verwackeln von Aufnahmen 144  
 Verziehung der lichtempfindlichen  
 Schicht 115  
 Vierfachkammer 150  
 — nach J. W. BAGLEY 149  
 Vierpunktverfahren 12, 17  
 Viseur-dérivomètre 230  
 VOGEL, E. 119  
 VOIGTLÄNDER & SOHN A. G. 111, 138  
 Vorwärtseinschneiden 35, 105, 182, 194  
 — ebenes, mit Hilfe von Senkrecht-  
 aufnahmen 38  
 — Genauigkeit des 49, 202  
 — geodätisches 52  
 — graphisches, aus geneigten Aufnah-  
 men 97  
 — graphisch optisches, mit Richtungs-  
 büscheln 40  
 — mit graphisch mechanisch bestimmten  
 Richtungswinkeln 43

- Vorwärtseinschneiden mit optisch-mechanisch bestimmten Richtungswinkeln 44  
 — mit rechnerisch bestimmten Richtungswinkeln 40  
 — nach Luftmeßbildern 210  
 — photogrammetrisches 36, 210  
 — Genauigkeit des 49, 202  
 — rein graphisches, mit Richtungsbüscheln 35  
 — stereoskopisches 50, 51  
 — stereoskopisches, Genauigkeit des 50  
 Verfahren, photogrammetrisches, Vorzüge des 6  
  
 WANDERSLEB, E 108  
 Wechselkassette 144, 146  
 WEGNER, K 217, 222, 233  
 WEIDNET, F 108, 109, 158  
 WEIDINGER, H 143, 164, 198  
 WEISS, M 3, 8, 129, 136  
 WEISSER, A 8  
 WEIST, B 217  
 Weitwinkelaufnahmen 149, 154  
 Weitwinkelpanoramaaufnahmen 150  
 Wellenaufnahmen 8  
 WELLISCH, S 162  
 Wendezüger 235,  
 WENDT, H 62  
 WENZ, E 222  
 WERNER, P 31, 38, 49, 132, 172, 174, 196, 211  
 Wetterdienst 222  
 WILD, H 71, 72, 73, 86, 111, 140, 221  
 Wildbachverbauungen, Aufnahmen für 7  
 WILLIAMSON MANUFACTURING Co LTD 106  
 WILLIS, F L 217  
 WINCHESTER, CL 217  
 Windräder mit Tourenzähler 230  
 Winkelgitter 43, 44  
 WINTERBOTHAM, H S L 4  
  
 Wirkungsgrad der Aufnahme 227  
 — des Auftrages 227  
 — des Fluges 227  
 — eines Verschlusses 113, 146  
 Wirtschaftskarte 6  
 — allgemeine 7  
 Wirtschaftlichkeit der aerophotogrammetrischen Arbeitsergebnisse 213, 217  
 WOLF, E 70, 98  
 Wolkenaufnahmen 8, 47, 139  
 Wolkenautomat, SPRUNGSCHER 134  
  
 Xenar 108, 109  
  
 ZAAR, K 28, 29, 30, 32, 33, 108  
 Zeichenfläche, zylindrische, am Aerokartograph 101  
 ZEISS, CARL 21, 46, 53, 70, 107, 108, 115, 124, 129, 140, 143, 145, 198, 2  
 Zentralverschluß an phot. Objektiv 113, 148  
 ZEPPELIN-Schiffe 221  
 ZIEGLER, E 8  
 Zielfernrohr nach H. BOYKOW 228, 2  
 Zielmarke 132  
 — zum Photogrammometer nach R. H. GERSHOFF 127  
 Zimmerarbeit bei der automatischen Kartierung 6  
 Zonenverfahren (Zonentransformation nach SCHIMPF 61, 75  
 ZSCHOKKE, W 108  
 ZUMPFORT, L 228  
 Zusatzsystem, optisches beim Stereoplanigraphen nach W. BAUERSTE 96, 97, 98  
 Zweifachkammern 150  
 Zweifachreihenbildner von CARL ZEISS 155  
 Zylinder, gefährlicher 172, 174, 179, 2  
 Zylinderkammer 154  
 Zylindrograph von M. MOUSSARD 136

Verlag von Julius Springer in Wien I

# Handbuch der wissenschaftlichen und angewandten Photographie

Herausgegeben von

Dr. Alfred Hay, Wien

Das Handbuch soll über den heutigen Stand der wissenschaftlichen und angewandten Photographie in streng objektiver Art unterrichten. Durch weitgehende Unterteilung des Stoffes, durch Heranziehung führender Fachleute auf den Spezialgebieten, durch Beschaffung einwandfreien Tabellen- und Bildmaterials wurde eine möglichst umfassende Darstellung der wissenschaftlichen und angewandten Photographie unter deutlicher Herausarbeitung alles Wesentlichen angestrebt.

Das Werk ist einerseits für den Fachmann und Wissenschaftler auf dem Gebiet der Photographie als selbständige Disziplin, andererseits aber auch für alle jene bestimmt, die sich der Photographie als Hilfsmittel bzw. Hilfswissenschaft bedienen.

*Das Gesamtwerk wird neun Bände umfassen und voraussichtlich bis 1930 vollständig vorliegen*

## *Übersicht über das Gesamtwerk*

### **1 Band Das photographische Objektiv**

Bearbeitet von W. Merté, R. Richter, M. v. Rohr

Geschichte des photographischen Objektivs Das photographische Objektiv

### **2 Band Die photographische Kamera**

Bearbeitet von K. Pritschow

Die photographische Kamera und ihr Zubehör

### **3 Band Photochemie und Photographische Chemikalienkunde**

Bearbeitet von A. Coehn, G. Jung, J. Daimer

Photochemie Photographische Chemikalienkunde

Preis RM 28,—, gebunden RM 30,80

### **Band Die Erzeugung und Prüfung der photographischen Materialien**

Bearbeitet von M. Andresen, F. Formstecher, W. Heyne,

R. Jahr, H. Lux, A. Trumm

künstlichen Lichtquellen in der Photographie — Das Magnesiumlicht als künstliche Lichtquelle der Photographie — Sensitometrie — Die Fabrikation der photographischen Trockenplatten — Filmfabrikation — Die Herstellung photographischer Papiere

### **Band Der photographische Negativ- und Positivprozeß und ihre theoretischen Grundlagen**

Bearbeitet von W. Meidinger

latente Bild Die Entwicklung Verstärkung Abschwächung Tonung Detail- und Helligkeitswiedergabe Sensibilisierung Die Chromatverfahren

### **6 Band Wissenschaftliche Anwendungen der Photographie**

Bearbeitet von L. E. W. van Albada, Ch. R. Davidson, F. P. Liesegang,

T. Péterfi

Stereophotographie Astrophotographie Die Bildprojektion Mikrophotographie

### **7 Band Photogrammetrie**

Bearbeitet von R. Huguershoff

Photogrammetrie und Luftbildwesen

### **8 Band Farbenphotographie**

Bearbeitet von L. Grebe, A. Hübl, E. J. Wall†

Photographische Licht- und Farbenlehre. Spektrumphotographie Die Praxis der Farbenphotographie  
Preis RM 24,—, gebunden RM 26,80

### **9 Band Die Photographie in der Reproduktionstechnik**

*Jeder Band ist einzeln käuflich*

## **Das photographische Meßverfahren — Photogrammetri**

Von Paul Seliger, Berlin-Lichterfelde

I. Teil. Mit 36 Abbildungen (Beitrag aus „Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften“, Bd V) Gesamtumfang des Bandes IV, 324 Seiten 1926

Gesamtpreis des Bandes RM 21,—, geb RM 22

### **Inhaltsverzeichnis**

Einleitung I Lineare Messungen Reproduktionen, Vermessung von Hausfronten, Aufnahmen aus der Luft mit senkrecht gerichteter Kameraachse, Aufnahmen aus der Luft mit geneigter Kameraachse, Umformung, Kartenberichtigung durch Aufnahmen aus der Luft II Dreiecksmessungen Die Vermessung körperlicher Gebilde, Photographische Winkelmessung, Berechnungen, Konstruktionen, Genauigkeit der photographischen Winkelmessung, Beispiele III Stereoskopische Messungen Entwicklung, Allgemeine Beschreibung, Aufnahme der Stereogramme, Auswertung der Stereogramme, Konstruktionen, Über die Genauigkeit, Charakteristische Beispiele IV Luftbildmessungen Rückwärtsschnitt im Raume, Flugzeug-Meßkameras, Der Bildmeßtheodolit, Doppelpunktbestimmung im Raume, Der Doppelprojektor, Der Autokartograph, Der Stereoplanigraph, Das Lufttopographische Verfahren der „Aerogeodätik“, Schlußwort

## **Das photographische Meßverfahren — Photogrammetri**

II. Teil. Mit 28 Abbildungen (Beitrag aus „Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften“, Bd VI) Gesamtumfang des Bandes IV, 378 Seiten 1927

Gesamtpreis des Bandes RM 24,—, geb RM 25,

### **Inhaltsverzeichnis**

Vorwort, I Messungen an feststehenden Körpern Topographie Hochgebirge, Topographie im Mittelgebirge und Flachlande, Forschungs- u. Kolonialtopographie, Katasteraufnahmen, Ingenieuraufnahmen, Planung, Photographische Pläne, Architektur, Kriminalistik, Reliefs II Messungen an beweglichen Körpern Astronomie, Meereswellen, Meteorologie, Ballistik III Medizin und Anatomie IV Schule und Unterricht Schlußwort

**Geodäsie.** (Carl Friedrich Gauß' Werke Herausgegeben von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen Bd IX) 528 Seiten 1903 RM 53

**Über die geodätischen Arbeiten von Gauß.** Von A. Galle. (Carl Friedrich Gauß' Werke, Bd. XI, Abteilung 2, Abhandlung 1) 105 Seiten 19 RM 17

**Topographie.** Leitfaden für das topographische Aufnehmen V Prof. Dr.-Ing. P. Werkmeister, Dresden Mit 136 Textabbildungen VI, 163 Seiten 1930 RM 10,50, geb RM 12

**Vermessungskunde.** Von Prof. Dr. Ing. Martin Näbauer, Karlsruhe (Hauptbibliothek für Bauingenieurwesen, I Teil, 4. Band) Mit 344 Textabbildungen 338 Seiten 1922 Geb RM 11

**Lehrbuch der Markscheidekunde.** Von Dr. phil. P. Wüskel, o. Prof. der Markscheidekunde an der Technischen Hochschule zu Aachen Erster Teil Mit 131 Abbildungen im Text, einer mehrfarbigen und 27 schwarzen Tafeln VIII, 252 Seiten 1929 Geb RM 20

